

一种基于多尺度小波分解的图象镶嵌技术

李忠新 茅耀斌 王执钤

(南京理工大学自动化系, 南京 210094)

摘要 为了获得一种具有艺术视觉效果的镶嵌图象, 提出了一种基于多尺度小波分解的图象镶嵌技术, 该技术首先对原始图象的各子块区域和图象库中的每一幅图象进行多尺度小波分解, 然后逐层计算各图象小波分解系数的标准方差和它们之间的相似距离, 并据此从图象库中选取与原始图象中的各子块区域最佳匹配的贴图, 再将其镶嵌到原始图象中的对应区域; 最后对贴图进行逐像素的颜色校正, 使贴图的颜色与原始图象尽可能一致。同时, 根据人眼观察某个区域时往往通过取整或将细节取平均来得到一个总体强度效果这一视觉特性, 使最终的镶嵌图象具有在远处看到的是各个贴图的内容, 而在远处观看则是原始图象的总体轮廓的视觉效果。利用计算机来自动地生成这种镶嵌图象的实验结果表明, 该方法是有效的。

关键词 计算机图象处理(520·6040) 图象镶嵌 多尺度小波分解 图象匹配 颜色校正

中图分类号: TP391.41 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2003)11-1261-05

A Method of Image Mosaicking Using Multi-scale Wavelets Decomposition

LI Zhong-xin, MAO Yao-bin, WANG Zhi-quan

(Department of automation at Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094)

Abstract In this paper a novel image mosaicking approach is proposed, which includes three steps. Firstly multi-scale wavelet decompositions are performed on each image segment that is partitioned from large reference image and each tile image in image library respectively. Then standard deviations of image wavelet decomposition coefficients and similarity distance between image segments and tile images are calculated in each level, which latterly are used as a criterion for tile image selection that images in library best matched to the mosaic area in reference image are selected. Finally to make the color of mosaic image identical to that of reference image, color correction on each pixel of mosaic image is employed. Due to human visual character that what human perceives is only the whole intensity of observed region by rounding and meaning of the intensity values in it, the final work of mosaicking has realized the effect that the tile images only can be discern nearly and the overall figure looks similar to that of the reference image from a distant view. An automatic computer mosaic image generation routine using above algorithm has been implemented, which shows the feasibility of this approach.

Keywords Image mosaicking, Multi-scale wavelet decomposition, Image matching, Color correction

0 引言

在绘画艺术领域中, 印象派画家利用人眼的视觉特性, 即人眼在观察一个包含几个像素的小区域时, 往往通过将细节取平均来得到一个总体的强度效果, 同时通过光线和色彩的变化来表现所描绘对象的整体感和氛围, 其绘画作品在远处观看时是由一系列单纯颜色的笔划组合, 而在远处观看时, 这些笔划能显

现出一个物体的整体轮廓。类似的研究工作有 Ostromoukhov 和 Hersch 提出的艺术 screening 技术^[1], 该技术是通过调节小图形(如鱼、鸟、字符等)的大小和形状来改变大图象亮度, 小图形由封闭的轮廓线描述, 整个作品完全由黑白两色构成, Haeberli 描述了一种总体上通过匹配给定的图象来生成图象的方法, 其生成的图象由许多的细小的笔划构成^[2]; Meier 首先将该方法扩展到三维动画^[3]; Litwinowicz 又将其推广到视频图象中^[4]; Finkelstein 等人提到的

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金(20020288024)

收稿日期: 2002-11-19; 改回日期: 2003-06-10

图象镶嵌技术也采用类似的方法,即由多幅小图象(本文中称之为贴图)经镶嵌构成大幅的图象^[5]。目前,这类技术广泛地应用于绘画领域,具有一定的艺术价值,也可以用来设计广告、杂志的封面,具有一定的商业用途。此外,还具有一些潜在的应用,比如在图象传输和信息安全等领域。

1 镶嵌的实现

图象镶嵌目前存在以下两种方法:一种是由艺术家手工选择贴图来创建大的镶嵌图,显然这一方法工作量巨大,同时要求操作者具有熟练的技巧;另外一种就是借助计算机来自动地完成图象的镶嵌,这样可以显著地降低工作量和对制作人员的要求。图1给出了图象镶嵌的流程。

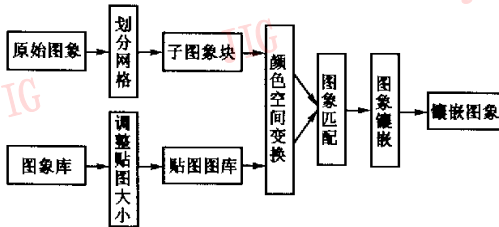


图1 图象镶嵌流程

1.1 原始图象和贴图的选取

镶嵌用的原始图象的选取应从以下几方面考虑:①在尺寸上,原始图象的大小应尽可能为贴图大小的整数倍,否则要对原始图象进行裁切;②在内容上,选择一些人所熟知的人物肖像或者著名景点的照片作为原始图象,这样易于从镶嵌图象中体现出原始图象中的大体内容;③选择低分辨率下便于识别的图片作为原始图象,也可以获得比较好的镶嵌效果;④选择亮度相对均匀的原始图象,可以使得镶嵌图象中贴图更易于辨认。

贴图内容的选取一般从艺术欣赏的角度出发,也可以根据实际需要进行选择。考虑到贴图和原始图象本身一般都是矩形的,因此本文选取矩形贴图进行镶嵌,当然也可以选择其他形状的贴图,比如六边形、不规则多边形。此外,贴图的长宽比应尽可能地与原来图象的长宽比相近,这样最终的镶嵌结果不致于产生明显的变形。

1.2 镶嵌的方法

镶嵌的目的在于为了获得一定的艺术视觉效果,

这一方面与贴图的内容和贴图图库的大小有关,另一方面就是与所采用的镶嵌方法有关。如今最简单的镶嵌方法就是用图象库中的贴图随机地替代原始图象中划分出的图象子块,然后通过校正贴图的颜色,使其平均颜色与原始图象中的子块区域的平均颜色一致。这种方法的缺点是由于原始图象的众多细节都丢失了,只有低频的信息得以保留,所以只有在相当远的距离上才能看见原始图象的大体轮廓。为了克服上述缺点,可以通过对贴图进行逐像素的颜色校正来提高与原始图象的匹配程度。这种方法虽然能够提高图象镶嵌效果,但是由于其对贴图进行了明显地改动,因此丢失了贴图中大量的颜色信息,这又与图象镶嵌时应尽可能地保持贴图原始信息不变的原则相矛盾。

一种更好的方法是在图象库中寻找与原始图象的子块区域能够进行最佳匹配的贴图,匹配的原则同时考虑图象的颜色信息和图象的轮廓信息。为此,需要定义一种相似距离来搜索图象库,以便从中找出与原始图象中的子块区域最佳匹配的贴图,这可以采用图象检索中的方法。根据上述分析,本文利用颜色、形状的组合特征来进行渐进式图象检索^[6],方法如下:考虑到在RGB空间的色值不能反映人的直感,所以应首先将图象转换到符合人类视觉特性的HSI颜色空间,若已知图象中某个像素的R、G、B值及对应HSI空间的H、S、I值,则从RGB空间到HSI空间的转换如下:

$$I = (R + G + B) / 3$$

$$S = 1 - \frac{3 \max(R, G, B)}{R + G + B} \quad (1)$$

$$H = \begin{cases} W & B \leq G \\ 2\pi - W & B > G \end{cases}$$

$$\text{其中, } W = \cos^{-1} \left\{ \frac{2R - (G + B)}{2 \sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \right\}$$

对图象库进行检索时,首先在HSI空间上对图象的每个颜色分量进行多尺度小波分解,并计算每幅图象的最低层(最低频率)LL的小波系数的标准方差 $\sigma_i, i=1, 2, 3$,分别表示H、S、I颜色分量, σ_i 表示查询图象(给定的原始图象中某一子块区域)的标准方差, $\tilde{\sigma}_i$ 表示目标图象(贴图库中的某一贴图图象)的标准方差。 $\sigma_i, \tilde{\sigma}_i$ 包含了图象的颜色分布信息。按下列条件比较 σ_i 和 $\tilde{\sigma}_i$:

$$\left(\lambda \sigma_1 < \tilde{\sigma}_1 < \frac{\sigma_1}{\lambda} \right) \left\| \left(\left(\lambda \sigma_2 < \tilde{\sigma}_2 < \frac{\sigma_2}{\lambda} \right) \&\& \left(\lambda \sigma_3 < \tilde{\sigma}_3 < \frac{\sigma_3}{\lambda} \right) \right) \right. \quad (2)$$

$$\left(\lambda \tilde{\sigma}_1 < \sigma_1 < \frac{\tilde{\sigma}_1}{\lambda} \right) \parallel \left(\left(\lambda \tilde{\sigma}_2 < \sigma_2 < \frac{\tilde{\sigma}_2}{\lambda} \right) \&\& \left(\lambda \tilde{\sigma}_3 < \sigma_3 < \frac{\tilde{\sigma}_3}{\lambda} \right) \right) \quad (3)$$

式中符号“ \parallel ”、“ $\&\&$ ”分别表示“或”、“与”运算， $\lambda \in (0, 1)$ 是常数，用来调节目标图象输出的数量。如果 σ_i 和 $\tilde{\sigma}_i$ 不能满足式(2)、式(3)，即目标图象的内容与查询图象的内容相距甚远，则不再考虑当前目标图象；否则从最低分辨率开始，比较目标图象与查询图象之间的小波系数，并计算相似距离，相似距离定义如下

$$D(f^{(q)}, f^{(t)}) = \alpha_{iL} \sum_{i=1}^3 \beta_i d_E(W_{i,LL}^{(q)}, W_{i,LL}^{(t)}) + \alpha_{iLH} \sum_{i=1}^3 \beta_i d_E(W_{i,LH}^{(q)}, W_{i,LH}^{(t)}) + \alpha_{iHL} \sum_{i=1}^3 \beta_i d_E(W_{i,HL}^{(q)}, W_{i,HL}^{(t)}) + \alpha_{iHH} \sum_{i=1}^3 \beta_i d_E(W_{i,HH}^{(q)}, W_{i,HH}^{(t)}) \quad (4)$$

式中， $d_E(\cdot, \cdot)$ 表 Euclidean 距离， $W_{i,LL}$ 、 $W_{i,LH}$ 、 $W_{i,HL}$ 和 $W_{i,HH}$ 分别表示图象在同一尺度下小波分解的逼近系数、水平方向(LH)上、垂直方向(HL)上和对角方向(HH)上的细节系数，这几个分量在一定程度上反映了图象的大体轮廓， α_{iL} 、 α_{iLH} 、 α_{iHL} 、 α_{iHH} 分别是小波系数在各个方向的权重， β_i ($i=1, 2, 3$) 用于强调颜色的各个分量(色度、饱和度、亮度)，上标 q 、 t 分别表示查询图象和目标图象。如果相似距离大于某个阈值，则目标图象的内容与查询图象的内容不符合要求，此时目标图象不予考虑；否则在上一个分解尺度继续上述过程，直至完成目标图象的搜索，故也可以通过阈值来控制图象的匹配程度，即若阈值越小，则图象间的相似距离就越小，相似性就越大；反之，亦然。具体的检索步骤如下：

①对给定的原始图象中的某一子块区域和贴图图库中的每幅贴图按转换公式(1)从 RGB 颜色空间转换为符合人类视觉特性的 HSI 颜色空间，再进行小波变换分解各颜色分量至 J 层，统计计算第 J 层最低分辨率 LL 的小波系数的标准方差。

②检查式(2)或式(3)是否成立。若不成立，则从目标图象表中删除当前图象，重复本步骤，直到贴图图库中的所有图象都被扫描为止。

③从 J 层开始，用式(4)计算查询图象与目标图象表中被保留的图象之间的相似距离，并与给定的阈值比较，若不满足条件，则从目标图象表中删除

当前图象。

④ $J = J - 1$ ，如果 $J > 0$ ，则重复步骤③；否则停止。

⑤将从图象目标表中检索出的图象按相似距离从小到大排列，并返回给用户相似距离最小的图象作为匹配的贴图。

在上述步骤中，还要考虑每一幅贴图在最终的镶嵌图象中允许出现的次数，如果只允许使用一次，则要从下一幅原始图象中的子块区域的目标图象表中删除已使用过的贴图，而本文中用于镶嵌的图象均允许重复使用同一幅贴图。

该方法为渐进式图象检索，它是利用最低层的小波系数标准方差来滤除不符合要求的目标图象，并通过逐层计算查询图象与目标图象之间的小波系数的相似程度来提高搜索精度和加快搜索时间。

1.3 颜色校正

前面曾提到过要尽可能地减少对贴图的修改，但为了获得更好的镶嵌效果，特别是当贴图库中贴图数目有限的情况下，还要对镶嵌后的图象进行处理，即对贴图进行颜色校正，以便使之与原始图象对应区域的颜色相符。

本文研究了在 RGB 空间上对图象进行颜色校正的方法，这里只给出了灰度图象的处理方法，若将其校正规则分别应用到彩色图象 R、G、B 3 个颜色分量上去，就可以实现彩色图象的颜色校正。本文采用平移和缩放灰度直方图的方法来进行灰度变换，同时逐像素地校正贴图的灰度值。如果通过平移就能实现灰度的校正，则只对贴图的灰度直方图进行平移；如果通过平移，贴图的某些像素值超出了灰度等级范围，则对贴图的灰度直方图先进行缩放，再进行平移，以便最终实现灰度的校正。实践证明，采用这种方法能突出原始图象中的形状和边缘信息，而且对于随机镶嵌贴图的方式，采用该方法对贴图每个像素进行修改，效果也是十分显著的，但是若按前一节中叙述的匹配原则进行镶嵌，则对贴图的改动相对于前者要小，即符合前一节提到的镶嵌原则。具体校正规则如下：

(1)若贴图的平均灰度值 $\bar{x}_v \geq I$ ，则校正后贴图像素灰度值为

$$x_{\text{校正}} = \begin{cases} x_v + (I - \bar{x}_v) & x_{\min} \geq (\bar{x}_v - I) \\ I \frac{x_v - x_{\min}}{x_v - x_{\min}} & x_{\min} < (\bar{x}_v - I) \end{cases}$$

(2)若 $x_v < I$ ，则

$$x_{校正} = \begin{cases} x_v + (I - \bar{x}_v) & x_{max} + (I - \bar{x}_v) \leq 255 \\ (255 - (I - \bar{x}_v)) \frac{x_v}{x_{max}} + (I - \bar{x}'_v) & x_{max} + (I - \bar{x}_v) > 255 \end{cases}$$

其中, x_v 是贴图中某一像素的灰度值, \bar{x}_v 为贴图像素的灰度平均值, I 为原始图象子块区域对应像素的灰度值, \bar{x}'_v 为经过缩放后贴图像素的平均灰度值, x_{max} 、 x_{min} 分别为贴图中像素的最大、最小灰度值。

2 实验结果

实验采用的原始图象是大小为 736×552 的彩



图2 未经颜色校正的镶嵌图象

色图象, 图象库的大小为 1 000 幅图象, 实验时, 首先采用双线性插值的方法将图象库中的每幅图象缩放至大小为 32×24 的贴图, 然后考虑到贴图的大小, 图象检索时, 采用 Haar 小波对图象进行了 2 级小波分解. 图 2 为未经颜色校正的镶嵌图象, 此时只能看到原始图象的粗略轮廓, 其中贴图仍保持原有的颜色信息, 且与原始图象的颜色大体相近. 图 3 是在 RGB 空间对图 2 进行颜色校正后的镶嵌图象, 由该图可见, 此时原始图象的轮廓虽得到了突出, 但相应的贴图信息却有所损失. 为了便于比较, 图 2、图 3 中左上角给出了原始图象的缩略图.



图3 图2 经过颜色校正的镶嵌图象

3 结束语

本文描述了由一系列图象镶嵌生成一幅大图象的方法, 即首先采用多尺度小波分解来选择与原始图象最佳匹配的贴图, 同时又对镶嵌后的图象进行颜色校正, 在尽可能地减少对贴图进行修改的原则下来获得更好的镶嵌效果, 并通过实验表明这种方法可以获得较为满意的结果. 通过实验发现, 镶嵌效果与图象库的大小相关, 即图象库过小, 镶嵌的效果较差; 图象库过大, 计算时间又会相应的增加, 所以, 如何选择合适的图象库大小和如何评价镶嵌效果, 是未来要研究的工作之一. 此外, 本文将计算得到的图象小波系数的标准方差和小波系数之间的欧氏距离作为图象匹配程度的度量, 显然这可以采用其他的相似性度量来进行镶嵌, 同时还可以采用其他的颜色校正规则来进行镶嵌图象的后处理, 以期更快地获得更好的镶嵌效果, 这些工作都值得作进一步

的研究.

参 考 资 料

- 1 Ostromoukhov V, Hersch R D. Artistic screening [A]. In: Proceedings of the Association for Computing Machinery SIGGRAPH Conference on Computer Graphics [C], Los Angeles, CA, USA, 1995: 219~228.
- 2 Haerberli P E. Paint by numbers: Abstract image representations [A]. In: Proceedings of the Association for Computing Machinery SIGGRAPH Conference on Computer Graphics [C], Dallas, TX, USA, 1990: 207~214.
- 3 Meier B J. Painterly rendering for animation [A]. In: Proceedings of the Association for Computing Machinery SIGGRAPH Conference on Computer Graphics [C], New Orleans, Louisiana, USA, 1996: 477~484.
- 4 Litwinowicz P. Processing images and video for an impressionist effect [A]. In: Proceedings of the Association for Computing Machinery SIGGRAPH Conference on Computer Graphics [C], Los Angeles, CA, USA, 1997: 407~414.
- 5 Finkelstein A, Range M. Image mosaics [A]. In: International Conference on the Electronic Publishing and Raster Imaging and

Digital Typography Conferences[C], St Malo, France, 1998:11~22.

- 6 陈武凡. 小波分析及其在图象处理中的应用[M]. 北京:科学出版社,2002:199~201.



李忠新 1976年生,2000年获南京理工大学硕士学位,现为南京理工大学自动化系博士研究生,主要从事为图象处理、虚拟现实等方面的研究.



茅耀斌 1971年生,1996年获北京理工大学自动化系硕士学位,现为南京理工大学自动化系讲师.主要研究方向为图象处理、数字水印技术等.

王执铨 1939年生,1962年毕业于哈尔滨军事工程学院,现为南京理工大学自动化系教授、博士生导师.当前感兴趣的领域为信息安全技术、混沌控制与应用、大系统的容错控制理论与应用.

第二届全国信息获取与处理学术会议

征文通知

第二届全国信息获取与处理学术会议将于2004年8月召开,本次会议由中国仪器仪表学会主办,沈阳市仪器仪表与自动化学会承办.

一、征文范围

(1)各种测量、计量、检测、监测、探测、测试、实验、试验(以下统称测量)等方法研究;(2)各类传感器、敏感元件、仪器仪表、测量装置的新原理、新技术、新元件、新材料、新工艺的研究;(3)测量过程中的信号传输(如现场总线技术等);(4)模式识别(图象、语音、生物特征识别等);(5)数据处理;(6)化学分析方法与仪器;(7)环境监测技术;(8)天体、大地、海洋测量;(9)地质矿产勘探,地热、地震、火山、地磁、地电、水文观测,大气探测,矿山安全检测;(10)临床医学影像检查、实验室检验;(11)金属材料与金属腐蚀试验、实验应力分析;(12)生产过程自动化;(13)其他.

二、征文要求

(1)论文未公开发表;(2)来稿请严格按照《沈阳测控信息网》提供的排版格式要求排版,打印两份,包括中英文摘要,参考文献,全文控制在二个版面;(3)受各类基金资助的论文,请注明项目名称及编号;(4)请用A4纸打印论文题目,作者姓名,简历,单位,通讯地址,邮编,电话,传呼,手机,E-mail等;(5)来稿请通过电子邮件和邮局同时投寄;(6)版权纠纷,作者自负.

三、重要信息

本次会议将评选优秀论文,由中国仪器仪表学会颁发优秀论文证书,并在《沈阳测控信息网》公布获奖名单.会议录用论文将刊登在《仪器仪表学报》2004年第3期增刊上.

有关本次会议的具体时间,地点,组织机构等进一步相关信息请关注《沈阳测控信息网》.

四、重要日期

论文截稿日期为2004年3月15日,论文录用通知发出日期为2004年4月1日.

五、投稿地址

沈阳市铁西区南十三路1号29信箱(邮编:110023)沈阳市仪器仪表与自动化学会 贾冬娜收.

电话:024-25691417 25415320 传真:024-25415320

电子信箱:webmaster@meeting.org.cn 或 webmaster@syias.org.cn

《沈阳测控信息网》网址:http://www.syias.org.cn