

川南石刻图像模板匹配方法研究^{*})

李雅梅 吴中福

(重庆大学计算机学院 重庆大学艺术学院 重庆 400044)

摘 要 本文以四川南部地区南宋墓葬石刻艺术图像为切入点,提出石刻图像模板匹配的方法,重点讨论石刻图像模板匹配的具体方法与流程,以及匹配过程中需要解决的几个关键技术性问题,最后通过仿真实验证明了该方法的有效性,并指出进一步的研究方向。

关键词 石刻艺术,模板匹配,模式识别

On Template Matching Method for Carved Stone Image

LI Ya-mei WU Zhong-fu

(College of Computer Science of Chongqing University, College of Art of Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract This paper puts forward the template matching method for carved stone image taking the Southern Song Dynasty grave in the south of Sichuan as the contact point. It puts special stress on analyzing the concrete template matching method and process, discusses the key problems in the matching process, and proves the validity of this method through simulation experiment, in the end, pointing out further research direction.

Keywords Carved stone art, Template matching, Model identification

1 引言

四川南部地区南宋墓葬石刻艺术群分布范围广、表现内容丰富、雕刻精美、富有浓郁的地域特征,是我国四川地区继广汉三星堆之后的又一重大考古发现,具有不可估量的艺术研究价值^[1]。但是,迄今为止艺术领域的研究者们依然在采用人工的方式识别图像,并且识别的正确率严重受到识别者知识和经验的制约,未能建立一个科学的识别系统。因此,利用先进的计算机技术,采用图像模板匹配方法,对川南地区南宋墓葬石刻图像进行自动识别,将大大加快艺术领域研究的速度,并提高研究的精度与深度,帮助艺术领域的研究者应用现代化手段从事艺术研究,具有实用的意义。

2 图像匹配方法

2.1 图像匹配

图像匹配是根据已知图像的模式从另一幅图像中寻找与之相同的图像模式的过程,它是将不同时间、不同传感器、不同视角以及不同拍摄条件下获取的同一目标的两幅或多幅图像进行空间位置上的对准,最终建立图像之间的匹配对应关系^[2]。图像匹配技术最早始于 20 世纪 70 年代,在美国军事航空领域的应用研究中提出,80 年代随着计算机科技的发展,图像匹配技术被逐渐应用到各种不同的研究领域,各研究领域又针对该领域不同的应用情况,分别探索适合自身发展的特定技术。如今,图像匹配技术已经广泛应用到遥感技术、目标识别、自动导航、医学图像诊断、计算机视觉、地理信息系统等领域的研究中。图像匹配技术根据图像获取方式与匹配方式的不同可分为多模态匹配、多观察点匹配、时间序列匹配和模板匹配四种类型,其中模板匹配是最原始与最基本的方法,该方法在模式识别领域中应用最为广泛^[3]。目前国内外

所采用的图像匹配方法大致分为两大类:(1) 基于灰度的图像匹配方法。这类方法首先从参考图像中提取目标作为匹配的模板,然后用该模板在待匹配图像中搜索,通过相似性度量寻找最佳的匹配点,该方法直接利用每一个像素点的灰度值进行测量,不需进行特征提取,是应用较为广泛的一种方法;(2) 基于特征的图像匹配方法。这类方法首先需要提取图像的特征点,然后建立特征点集之间的对应关系,寻找对应的特征点对,由此求出配准参数。基于特征的图像匹配方法具有较高的可靠性,是目前国内外最热门的研究方法。基于图像特征的匹配方法包含特征提取与特征匹配两个主要部分,首先从两幅图像中提取变化明显的点特征、线特征和面特征而形成特征点集,然后再在两幅图像对应的特征点集中利用特征匹配算法将存在对应关系的特征点对选择出来,从而实现两幅图像之间的匹配对应关系^[4]。

2.2 模板匹配

模板是定义和描述某一类事物的标准,是一种相对固定的格式和规范。模板匹配技术是将事先给定的图像格式与图像库中的待匹配图像进行比较,通过计算两幅图像的相似度来确定是否匹配的一门技术。模板匹配技术具有较高的精度,但同时计算量也较大。模板匹配中的相似性测度十分重要,它是寻找图像之间所包含内容的相似程度的技术过程,它量化地衡量两幅图像匹配的结果。一般情况下,由于待匹配图像受到拍摄角度、光照条件等因素的影响,描述图像的信息会存在一定的差别,于是没有绝对的效果,只能计算它们的相似性程度^[5]。相似性测度的选择是图像匹配中最重要的步骤之一,它将决定如何确定匹配变换,且其匹配的程度最后将转化为匹配还是不匹配。定义图像相似程度的公式为:

$$S(X, Y) = \frac{X^T Y}{\|X\| \|Y\|}$$

^{*}) 本课题得到重庆市自然科学基金的资助(CSTC2006BB2003)。李雅梅 博士研究生,主要研究方向为传统视觉艺术与数字图像处理;吴中福 教授,博士生导师。

式中 X 和 Y 分别代表模板和待匹配图像的特征点集值, $S(X, Y)$ 的值越大, 表示模板与待匹配图像越相似。

3 川南石刻图像模板匹配的方法及步骤研究

由于川南地区南宋墓葬石刻图像表现形式的多样性, 我们不可能在每一类图像中都找到一种完全适合该类图像的匹配方法。因此, 我们根据石刻图像匹配的具体要求, 设计具有针对性的石刻图像模板匹配方法, 该方法包含以下几个关键步骤:

(1) 创建识别库

创建川南墓葬石刻艺术图像识别库, 实地拍摄了彩色石刻图像 300 幅, 并进行相应的预处理, 预处理步骤包括: 图像分割、去除噪声、倾斜角度矫正、灰度处理、边缘提取等, 并将结果保存到识别库中^[6]。

(2) 特征提取

根据每一类石刻图像的具体内容, 通过反复分析与比较, 提取最有代表性、区分性和最为显著的形状, 作为该类图像的重要特征, 并将其保存到石刻图像特征库中。

(3) 创建模板库

将石刻图像特征库中的图像先进行二值处理, 再进行形态学运算, 得到具有闭合区域形状的石刻图像特征模板, 然后将其统一保存到模板库中。川南石刻图像模板如图 1 所示。

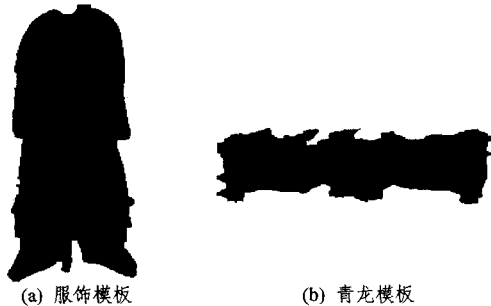


图 1 川南墓葬石刻服饰与青龙模板图

(4) 模板选择

在图像模板匹配的过程中, 特征模板的选择对匹配的结果有重要的影响, 因此, 为了获得匹配判断能利用的最大化信息, 我们制定了如下模板选择原则:

- ①选择的模板要具有很强的分类能力;
- ②选择的模板之间的差别要明显;
- ③模板的特征要易于区分和计算;
- ④选择的模板能够涵盖同类图像的主要像素信息。

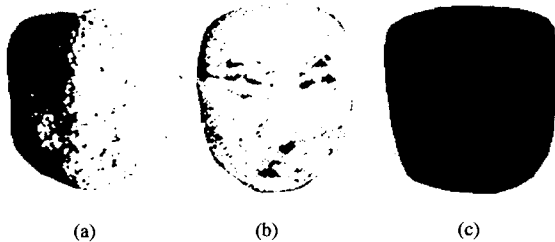


图 2 川南墓葬石刻脸部模板对比图

川南石刻图像脸部模板选择的对比图(如图 2 所示), 图中(a)由于光照的影响, 特征区域闭合情况不好;(b)特征区域内像素点密度不高;(c)模板包含了前两幅图像的所有像素信

息, 为最佳特征模板。

(5) 模板匹配

将模板与待匹配图像进行匹配, 计算模板与待匹配图像中像素点的击中比例。模板匹配需要有一定的弹性度来容忍偏差, 于是我们设置了一个阈值: 当匹配值大于阈值时, 确定为匹配, 否则确定为不匹配。阈值定义了模板与待识别图像之间可能存在的偏差限度, 阈值的获取是根据每一类石刻图像的具体情况, 通过试验反复比较获得的, 最后将最佳阈值保存到阈值库中。石刻图像模板匹配流程图如图 3 所示。

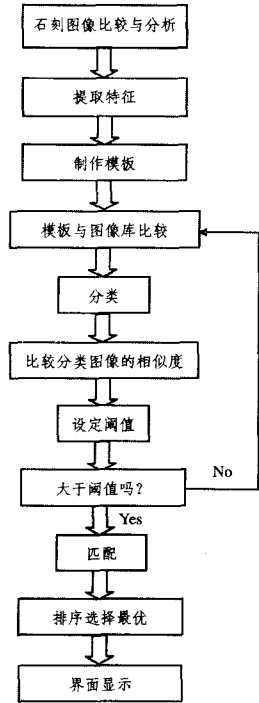
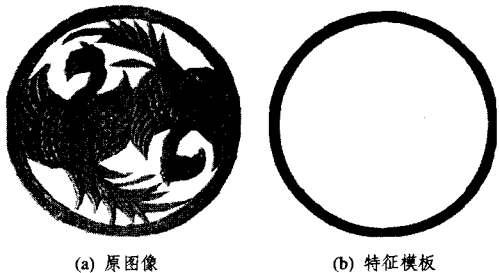


图 3 川南石刻图像模板匹配流程图

4 川南石刻图像模板匹配的关键问题研究

4.1 模板尺寸选择

模板匹配过程中模板尺寸的大小会影响到匹配的结果, 如果模板尺寸太大, 虽然能容纳足够多的信息, 同时也会造成一些干扰信息。反之, 如果模板的尺寸太小, 则可供识别的特征太少, 最终会导致无法确定最佳的匹配。由于模板匹配的计算量主要取决于搜索范围的大小, 而与模板尺寸关系不大, 因此, 一般情况下模板的尺寸主要根据匹配对象的具体要求而定。在川南墓葬石刻图像模板的匹配研究中, 我们将模板尺寸与待匹配图像尺寸统一, 采用 256×256 的尺寸大小, 这样模板图像与待匹配图像的匹配过程中, 不再需要逐个像素点地移动搜索, 只需将两幅图像完全重合对准即可直接进行比较, 这样大大降低了计算的复杂度, 提高了系统识别的效率, 如图 4 所示。



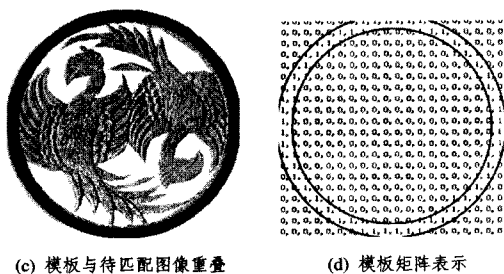


图4 川南石刻鸟禽类模板与待匹配图像对比图

4.2 模板数量决策

在川南石刻图像识别研究中,模板个数的设置会对匹配结果产生一定影响,因此,我们通过试验,对模板的个数的设定制定了以下规则:

- (1)对于特征明确的同类石刻图像,选择尽可能少的模板个数;
- (2)对特征差异较大的同类石刻图像,可以选择多幅特征模板;
- (3)石刻图像中发髻类图像的情况较为特殊,表现样式繁多,且每一种发髻样式在造型上都呈现出独有的特色,因此,我们根据发髻样式上的区别,分别从每一类发髻样式中选择一幅最有代表性的图像做成模板。这样识别系统除了能够正确区分一幅图像是否属于发髻图像,还可以将不同的发髻图像归入到不同的发髻样式类别中(如表1所示)。

表1 川南石刻图像模板分布情况表

石刻名称	模板数量	识别率
脸部	1	100%
服饰	1	100%
龙虎	1	100%
朱雀、玄武	各1	71%
鸟禽(圆)鸟禽(方)	各1	100%
花卉	11	78.6%
兽类	6	75%
发髻	15	95.9%

4.3 模板匹配采用的方法

在川南石刻图像识别研究中,我们以解决实际问题为目的,在不影响识别精度的情况下,尽可能采用简单的模板匹配方法。目前模板匹配方法根据几何变换性质的不同,可分为刚性模板和柔性模板两种。刚性模板可以解决模板的平移、旋转和缩放等问题。柔性模板除了解决刚性模板已经解决的问题,还可以解决具有形变的图像匹配问题。而在刚性模板与柔性模板匹配方法中,只要增加任何一种变换方式,计算量都会成倍地增长,如果使用的变换方式过于复杂,有可能会使系统识别的效率较低,无法实际应用。我们在川南墓葬石刻图像的前期识别库建立阶段,由于进行了较好的预处理,所有待识别图像不存在形变、遮挡、缩放和旋转等问题,因此,适合采用刚性模板匹配的方法。该模板匹配法的优点有:

- (1)当识别对象特征明确时,该方法是所有模板匹配方法中最简单、最直接的方法;
- (2)在不涉及物体的平移、旋转等变化时,该方法效率极高;
- (3)具有相似的模式,可重复适时地加以应用;
- (4)识别精度高,计算速度快,可以大大减少运算量,使识

别效率更高。

4.4 模板匹配算法

在川南墓葬石刻图像模板匹配研究中,我们采用的算法是从每一类石刻图像中提取一幅或多幅最具代表性的图像制作成模板,然后将模板与石刻图像库中的待匹配图像进行逐个像素点的扫描,计算两幅图像之间的非相似度,来确定匹配的结果。其石刻图像模板匹配的形式化描述为:设石刻图像模板为 $t(x, y)$,令其与待匹配石刻图像 $f(x, y)$ 相重合,检测 $t(x, y)$ 和 $f(x, y)$ 重合部分之间的非相似度,对识别库中所有的图像都进行这样的操作,根据计算的非相似度是否超过某一阈值来确定对象物的存在,并求得对象物所在的位置。

其计算公式为:

$$\min |f - t|$$

在目前模板匹配算法研究中,每一种算法都是针对某一具体应用而提出的,没有哪一种匹配算法能够广泛适用于各种图像,因此,在川南墓葬石刻图像系统识别研究中,我们以算法的精度高、简单、易于实现为目的来进行模板的匹配。公式计算的是模板与图像重合部分的非相似度,非相似度值越小,表示图像匹配的程度越好。

5 实验结果分析

本研究的实验环境是:操作系统为 Window2000 的 Server;具有 2GB 的内存;仿真软件是 MATLAB;测试数据集使用自建的川南地区南宋墓葬石刻图像库,该图像库有待识别的彩色石刻图像 300 幅,采用本文提出的模板匹配方法能够正确识别图像 290 幅,错误识别的图像有 10 幅,系统总识别率为 96.6%,实验结果表明我们采用的方法简单、有效,达到了满意的识别效果。

表2 川南石刻图像识别系统的识别效果一览表

分类	石刻名称	起始序号	数量	正确识别数量	错误识别数量	识别率
1	脸部	157-242	86	86	0	100%
2	服饰	75-156	82	82	0	100%
3	龙虎	271-293	23	23	0	100%
4	朱雀、玄武	294-300	7	2	2	71%
5	鸟禽(圆)鸟禽(方)	257-262	6	6	0	100%
6	花卉	243-256	14	11	3	78.6%
7	兽类	263-270	8	6	2	75%
8	发髻	1-74	74	71	3	95.9%

在川南墓葬石刻图像识别研究中,部分图像误识的原因分析如下:

- (1)对于分布松散、密度不集中、形体变化不明确的图片,产生误识的可能性较高;
- (2)整体形状特征不显著的图像,出错率较高;
- (3)数量较少的石刻图片,识别错误率较高。

表3 川南石刻图像识别系统识别错误的情况分析表

石刻名	误识数量	识别错误的归类及数量
发髻	3	龙虎 2 幅、鸟禽(圆)1 幅
朱雀、玄武	2	鸟禽(方)2 幅
兽类	3	发髻 1 幅、脸部 1 幅、服饰 1 幅
花卉	2	发髻 1 幅、龙虎 1 幅

(下转第 282 页)

订阅管理的有效性要求海量的用户订阅聚集到一个较小的集合,从而使路由表的大小适应主存,同时加速文档的过滤。构造 S 上的订阅聚集图 AG ,就是计算 S 上所有的包含和祖孙关系。订阅/发布系统中的树模式是动态增减的,因此须采取渐增法计算 AG ,每次插入一个树模式。设 $P_1, P_2, \dots, P_{n-1}$ 对应图 AG_{n-1} , 现把 P_n 插入到 AG_{n-1} 中的适当位置,构成图 AG_n 。

算法 3 构造聚集图,在 AG_{n-1} 中加入 P_n 后得到 AG_n 。

```
add( $P_n, AG_{n-1}$ )
{if Node $P_{equ}$  = EQVal( $P_n, G_0$ )
  merge( $P_n, NodeP_{equ}$ )
else if { if  $\Delta$  = ExistEdges( $P_n, AG_0$ ) 非空
  {AddEdges( $\Delta, AG_{n-1}$ );
   $G_{n-1} = G_{n-1} + \{P_n\}$ ; }
return( $AG_{n-1}$ )}
```

算法 3 中 AG_0 表示图 AG_{n-1} 中的根结点,即没有输入边的结点;ExistEdges(P_n, AG_0)表示所有从 P_n 到 G_0 中结点的边的集合;EQVal(P_n, AG_0)计算出 AG_0 中与 P_n 等价的某一个结点;merge($P_n, NodeP_{equ}$)把 P_n 并入结点 $NodeP_{equ}$;AddEdges(Δ, AG_{n-1})把 Δ 中的边并入 AG_{n-1} 。

算法 4 在 AG 中删除 P_i 。

```
remove( $p_i, AG$ )
{if  $P_i \in G_0$  {delete( $NodeP_i$ ); return( $G_0$ )}
else remove( $p_i, G - G_0$ ) }
```

算法 4 中 $NodeP_i$ 表示 P_i 在 G 中的对应结点。delete($NodeP_i$)在 G 中删除结点 $NodeP_i$ 及其出边。由于算法 3 是经优化后的算法,以及 AG 中结点数为订阅条件等价类的数目,因此这个算法有非常好的性能。

例 2 树模式的集合 $S = \{ /a/b, /a/b/c, /a/b/c/d, /a/b[c=6], /a/b[c=6]/d, /a/b/d \}$ 。图 1 为 S 对应的约简订阅聚集图,其中实边表示包含关系,虚边表示祖孙关系。

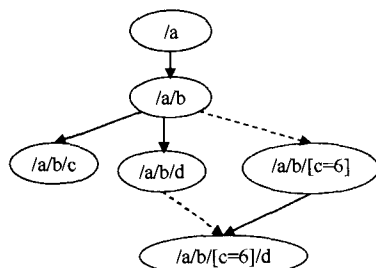


图 1 S 的订阅聚集图

结束语 本文系统地、形式化地研究了订阅/发布系统中的订阅管理问题。基于语义定义了树模式间的包含、等价和祖先关系、订阅聚集图及其约简形式以及树模式间的同态映射。根据同态映射设计了一种新颖的包含算法,利用本文定

义的同态估值矩阵和同态距离矩阵对该算法进行了有效的优化。设计了订阅管理中用户注册和注销时的两个重要算法。本文的研究成果能被扩展到 XML 查询处理等领域。

参考文献

- [1] Diao Y, Fischer P. YFilter: Efficient and scalable filtering of XML documents//Proc. of the 18th Int'l Conf. on Data Engineering, 2002; 341-345
- [2] Chan C, Felber P, Garofalakis M, et al. Efficient filtering of XML document with XPath expressions//Proc. of the Int'l Conf. on Data Engineering, San Jose, IEEE Computer Society, 2002; 235-244
- [3] Green T J, Miklau G, Onizuka M, et al. Processing XML streaming with deterministic automata//Calvanese D, Lenzerini M, Motwani R. eds. Proc. of the Int'l Conf. on Data Theory, LNCS 2572, Springer-Verlag, 2003; 173-189
- [4] Gupta A K, Suciu D. Stream processing of XPath queries with predicates//Halevy A Y, Ives Z G, Doan A H, eds. Proc. of the 2003 ACM SIGMOD Int'l Conf. on Management of Data, ACM, 2003; 419-430
- [5] Nguyen B, Abiteboul S, Cobena G, et al. Monitoring XML data on the Web//Aref W G, ed. Proc. of the ACM/SIGMOD Conf. on Management of Data, 2001; 437-448
- [6] Chen J, Dewitt D, Tian F, et al. NiagaraCQ: A scalable continuous query system for internet databases//Chen W D, Naughton J F, Bernstein P A, eds. Proc. of the ACM/SIGMOD Conf. Management of Data, ACM, 2000; 379-390
- [7] Chand R, Felber P, Garofalakis M. Tree-pattern Similarity Estimation for Scalable Content-based Routing. ICDE 2007; 1016-1025
- [8] Chand R. Large scale diffusion of information in Publish/Subscribe systems. PhD thesis, University of Nice-Sophia Antipolis and Institut Eurecom, 2005; 69-71
- [9] Chan C Y, Fan W, Felber P, et al. Tree Pattern Aggregation for Scalable XML Data Dissemination//Proceedings of VLDB, August 2002; 826-837
- [10] Silberstein A, He H, Yi K, et al. Boxes: Efficient maintenance of order-based labeling for dynamic XML data//Proc. of ICDE, 2005; 285-296
- [11] Liu H, Jacobsen H A. A-ToPSS: A publish/subscribe system supporting imperfect information processing//Proc. of the 30th Int'l Conf. on Very Large Databases, Toronto, Morgan Kaufmann Publishers, 2004; 1281-1284
- [12] Amer-Yahia S, Cho S, Lakshmanan L V S, et al. Minimization of Tree Pattern Queries//Proc. of SIGMOD, Santa Barbara, California, May 2001; 497-508
- [13] O'Neil P, O'Neil E, Pal S, et al. ORDPATHs: Insert-friendly XML node labels//SIGMOD, 2004; 903-908
- [14] Shasha D, Zhang K. Simple Fast Algorithms for the Editing Distance Between Trees and Related Problems, SIAM Journal on Computing, 1989, 18(6); 1245-1262
- [15] Wu X, Lee M, Hsu W. A prime number labeling scheme for dynamic ordered XML trees//Proc. of ICDE, 2004; 66-78
- [16] Chen Z, Jagadish H, Korn F, et al. Counting twig matches in a tree//Proceedings of ICDE, 2001; 595-604

(上接第 249 页)

结束语 (1)本文对图像匹配的相关技术进行了介绍,并提出了川南石刻图像模板匹配的方法、步骤和识别流程;(2)本文对川南石刻图像模板匹配中几个关键性问题进行了重点讨论,并提出了具体的解决方案;(3)采用本文提出的模板匹配方法,识别精度高、计算速度快,通过实验取得了较好的识别效果;(4)本研究是计算机识别技术在艺术领域应用的初步尝试,具有一定的现实意义。但如何扩展识别的范围并改进现有匹配算法,是进一步的研究方向。

参考文献

- [1] 李雅梅,张春新,吴中福. 川南地区南宋墓葬石刻“椅子”造型. 西

南大学学报(社科版), 2007(5)

- [2] 王家文,曹宇. MATLAB6. 5 图形图像处理. 国防工业出版社, 2004
- [3] 张洪刚,陈光,郭军. 图像处理与识别. 北京邮电大学出版社, 2006
- [4] Li Nan, Huang Zhong. Afeature-based pencil method//Proceedings of the 1st international conference on computer graphics and interactive techniques in Australian and south East Asia, Melbourne, Australia, 2003; 135-141
- [5] 于泓,陈辉,赵辉. 基于形状模板匹配的图像拼接算法. 计算机工程与应用, 2006
- [6] 李雅梅,吴中福. 基于形态学变换等技术的川南石刻图像预处理方法研究. 计算机科学, 2008, 35(3)