

基于相关性的病理切片图像配准

王国钧¹⁾ 韩丽萍²⁾ 陈礼民^{1,3)}

¹⁾(湖州师范学院信息工程学院, 浙江湖州 313000)

²⁾(山西大学电子系, 太原 030006) ³⁾(山西大学计算中心, 太原 030006)

摘要 尽管病理切片图像对配准的要求比较高,而现存的配准方法却难免会产生失配现象。为解决这一问题,提出了一种基于相关性的病理切片图像配准新算法。该算法是采用基于图片中两平行列(行)间的数据来抽取特征的方法。为了避免“干扰”的累积,该算法选择了差值曲线中最强的特征——最大包来作为模板的基元,并根据图片内容的相关性,利用最大包的分布作为模板来进行图像配准,从而降低了“干扰”的影响,使算法配准的稳定度比以前一些算法有较大的提高。实验证明,该算法不仅比较规整,稳定性高,而且计算速度也较快,是一种比较实用的图像配准算法。

关键词 相关性 图像拼接 结构特征

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2004)03-0275-05

Images Registration of Pathologic Slices Using Relativity Based

WANG Guo-jun¹⁾, HAN Li-ping²⁾, CHEN Li-min^{1,3)}

¹⁾(Faculty of Information & Engineering, Huzhou Teachers College, Huzhou Zhejiang 313000)

²⁾(Department of Electronics, Shanxi University, Taiyuan 030006)

³⁾(Computer Center, Shanxi University, Taiyuan 030006)

Abstract The requirement of the images registration of pathologic slices is more demanding than others in quality, but some of the present methods of images registration will produce unmatched phenomena. In order to solve this problem, a new stitching algorithm of images based on relativity is presented here. In this algorithm, the character of the image is got from the two parallel columns (or lines) in the overlap area of images, which will be stitched up each other. To avoid the accumulation of the “disturbance”, the maximal envelop is taken as the element of template, which is the strongest character in the curve of difference data. And according to the relativity of the image content, the method of images registration will be proceeded by using the template which is made by the distribution of the maximal convex envelop, then the effect of the “disturbance” will be reduced, thus the method of images registration mentioned here is more steady than some former similar methods. Experiments demonstrate that this algorithm not only is more regular and stable, but also has a faster calculating speed. It's a more practical method of images registration.

Keywords relativity, image mosaic, structure character

1 引言

图像配准一般是指有重叠区的相邻两幅图像的对准,目前图片配准的方法众多,大致上可分为基于区域的和基于特征的两类^[1]。前者,由于计算量大,

且容易受到光照条件等的影响,因此仅适合类度相似的图片的拼接;后者是通过图像像素值导出的特征来实现匹配,这种方法,相对地比较稳定,且速度较快,适应的范围也较宽,已吸引了不少学者的兴趣。

Irani 等讨论了许多图像配准算法^[2],文献^[1, 2],

2]讨论了全景图像的拼接;Chen采用基于相关函数的图像配准算法^[3];文献[4]则采用基于区域的方法来配准图像,而和本文有关的是采用基于特征的匹配算法^[5~9]。图像的几何特征,一般是指特征点、特征线段、特征曲线,特征图形等。文献[9]算法是对基于面配准算法的改进,其实它是基于几何形状的算法,该算法对每幅图中的相关点集通常采用手工选择。文献[1]讨论了使用 Gabor 小波分解的特征提取和基于轮廓的图像镶嵌技术。

而对于病理切片的图片来讲,它的特点是环境比较稳定,由于拼接要求较高,且数量较大,所以既要求精确又要求速度较快,如采用基于特征的配准方法,则不仅计算比较复杂,有的还需要人工采集数据^[9];而基于几何形状的配准方法,在病理切片的图片中,又容易遇到形状雷同的情况,都不理想。文献[5,6]是通过抽取特征行数据分布来作为特征模板的,该算法的特征抽取虽比较简单,但如果存在干扰,则干扰是会被累加的。在配准的精度方面,文献[10]提出了伪匹配问题,如果信息量太少,出现伪匹配应该是正常的,但这不是本文要讨论的问题。实际上,图片配准点的模糊,即配准位置邻位有时会出现相似的特征,这是难免的,由于“干扰”的存在,从而造成失配,这是图片配准真正的难点。本文的目标是在有一定特征可取的情况下,如何尽可能提高配准的成功率,并快速地实现图像配准。

2 病理切片的数据

文献[6]的方法,由于有时会出现失配现象,为此本文通过对图片在配准点及其附近的差值曲线数据进行考察发现,有些图片在配准时,其对应列(行)的差值数据虽然有较好的相似性,但在相似之间又存在着明显的差异,以致有可能造成伪配准现象。那么什么是造成医学图片伪配准的“干扰”呢?经过仔细考察,觉得这种差异由于无法从切片上涂的胶层或玻璃的背底等找到解释,也不像是受光线、几何畸变等环境的影响,因此,只能认为是由于图片两次采样之间发生微小(一个像素以内)的平移和旋转所致,而这种畸变不能用仿射变换等进行校正。从另一方面考虑,由于对这种变化的校正,既麻烦又没有通用意义,所以本文把这种差异归结为“干扰”,必须寻求对这种“干扰”下的图片仍能进行较好拼接的算法,以使算法更为实用。

3 算法的思想和轮廓

本文算法也采用基于图中两平行列(行)间的数据来抽取特征的方法,但为了避免干扰的累积,因而选择了差值曲线中最强的特征——最大包,并用它来作为模板。其好处是:①可降低干扰的累积作用;②可以变浮点运算为整型运算;③可以根据最大包的位置等参数计算出重叠交错距离;④还可以拓宽方法的应用范围。

但是在被拼接的 B 图已经发生微小移转的情况下,由于数据已经改变,因此即使以最大包为特征也不能避免配准列的模糊现象的出现。有的文章用梯度进行处理,但是,病理切片实验表明,选择离散性最好的图片配准方法,虽然失配的可能确实可以减少,但也不能完全避免,因为离散性最大和配准最佳没有直接的关系。为此,本文引入图片的相关性和它的最优化处理,并利用最大包的分布来进行图像配准。若两幅待配准图像大小为 $i \times j$, 则其水平方向匹配计算的主要过程如下(垂直方向从略):

```
For( $d=10; d < 25; d+=2$ ) //d 为特征列间的距离
```

```
For( $i=0; i < k_2 - k_1; i=i+1$ ) //i 是图像 B 的列号
```

```
{ modle1();
```

```
modle2();
```

```
For( $j=n_1; j \leq n_1 + k_1; j=j+1$ ) //j 是图像 A 的列号
```

```
     $e[i] += |\max P_B[i+j] - \max P_A[j]|;$   
    // $\max P_A[j]$ 、 $\max P_B[i+j]$  分别表示图像 A 和图像 B 中的两个对应列的最大包
```

```
    // $e[i]$  表示图像 B 的 i 列和图像 A 的  $n_1$  列对准  
    时,计算区重叠部分的失配程度
```

```
}
```

其中 modle1() 用于计算图像 A 计算区内各列对间的像素的差值、包络以及最大包; modle2() 用于计算图像 B 计算区内所有列对间的像素的差值、包络以及前 m 个最大的包; 误差 $e[i]$ 的最小值决定配准列的位置。另外,根据两个最大包的位置等参数可计算出重叠交错距离。

由上可知,求 $e[i]$ 的语句执行次数(即语句频率)^[11]为: $7 \times 50 \times 100$ 次整数加法运算,可见本文算法在计算速度上还是较快的。

找到重叠区域后,即可采用渐入渐出思想的图像平滑方法来拼合图像,以实现无缝拼接。

4 算法的实现

4.1 基本概念

(1)差值数据 图片中某一列(设为第 j 列)(行)与间隔一定距离的另一列(行)对应像素部分的数据差。

(2)数据包 令小于某给定阈值的差值数据为零后,则差值数据中就存在不连续的若干组数据,其每一组数据就称为一个数据包,简称为包。

(3)局部和 包中数据的绝对值之和。

(4)最大包 第 j 列(行)的所有数据包中的局部和为最大的包,即为最大包。

另外,为叙述方便,约定图像 A 为取特征模板的图,图像 B 为要和图像 A 配准的图。

4.2 基本计算

首先,计算图像搜索范围中的任意两列对应像素的差值数据 $I_{\text{diff}}[i]$;然后在阈值作用下,将计算出的所有 $I_{\text{diff}}[i]$ 中数据分割为若干个数据包,并求出其中最大的包。若用数组 $\max P_A[j]$ 表示图像 A 的重叠区内第 j 列(行)的最大包,则图像 A 的重叠区内最大包的分布为

$$\Psi_A = \begin{cases} \max P_A[j] & j \in L_1, L_1 = \{n_1, n_1+1, n_1+2, \dots, n_1+k_1 \mid n_1, k_1 \in \mathbb{N}\} \\ 0 & j \notin L_1 \end{cases} \quad (1)$$

同理,对图像 B 有

$$\Psi_B = \begin{cases} \max P_B[j] & j \in L_2, L_2 = \{n_2, n_2+1, n_2+2, \dots, n_2+k_2 \mid n_2, k_2 \in \mathbb{N}\} \\ 0 & j \notin L_2 \end{cases} \quad (2)$$

其中, L_1 和 L_2 分别为两幅图像的计算区域。

若图像 A 的计算区域 L_1 在图像 B 的计算区域 L_2 上滑过,则每移动 1 列,均可以计算两个分布的差的绝对值之和 Δi ,有

$$\begin{aligned} \Delta i &= (\Psi_A - \Psi_B) \\ &= \sum_{j=n_1}^{n_1+k_1} |\max P_B[i+j-n_1] - \max P_A[j]| \quad (2) \end{aligned}$$

当 Δi 的值为最小时,图像 B 中的 i 是配准列,它和图像 A 中的 n_1 列对应,以上是计算的基本过程。式

(2)在具体计算时,是根据如下以图像 A 为模板的原则:(1)只计算 $\max P_A[j] \neq 0$ 的表达式;(2)对于每一个 $\max P_A[j]$,若找不到对应列 $\max P_B[i+j]$ 、或式

(2)中求和的两值是异号时,则 $\max P_B[i+j]$ 的值都以零计,即将 $\max P_A[j]$ 作为误差值计入 Δi 中。

最后通过所记录的两个最大包的起始位置和长度等参数求出水平交错距离,如果两个最大包长度相等,那么交错距离就是这两个最大包起始位置的差,否则就要恢复差值图形中最大包前后的几个数据,才能最终确定水平交错距离。

用变化两列间距离 d 的办法可以取得公式(2)的最佳化结果。

4.3 最大包的讨论

最大包是本文的主要特征,它的形状对失配、交错定位等会有一些影响。如果有如图 1 所示的两个最大包,则图 1(b)所示的那个包对于阈值和干扰就比较敏感,在它们的影响下,有可能分为两个较小的包。由于这会造成对应列的最大包失配现象,从而留下较大的误差。为此本文选择形状较好的包来作为 A 图的模板(如图 1(a)所示)。另外,即使阈值在一定范围内变化时,它不仅不会使最大包分裂,并且对其他计算影响也较小。



图 1 最大包的不同形状

图像 A 中最大包的确定原则如下:(1)设计一个用于衡量包形状的简单矩形函数;(2)从每列(行)前几个最大的包中,选取第 1 个符合要求的包作为最大包。如果存在两个最大包,则对式(2)没有影响,但在交错定位时,应该不使用这一列(行)。

配准时,式(2)中的求差部分,其具体计算过程是:在图像 B 的某列中,取前若干个和模板接近的较大的包,并将它们和模板的差值中的最小值作为计算项的值。从式(2)也可知,如果某一列(行)的最大包在干扰影响下,其值小于次大包,则对式(2)也只产生微小的影响,因为这里计算的是整个结构,而不是从每一个计算列(行)中找最小。由于本算法有较强的结构性,还能降低配准点附近数据模糊的影响,从而可提高配准的准确性。

4.4 重叠区域

重叠区域是用于图像配准的,实际上,图像之所以不能配准的有些问题就出在重叠区上。有如下几

个问题需要注意:

(1) 重叠区宽度的不确定性。目前重叠区宽度一般为图片宽度的 $1/3$ 左右,限于一般医院的条件,由于人工拍摄的图片,其重叠区的宽度实际上是未知的和不等的,因此只能从算法程序上来控制实际计算的区域。

(2) 为了程序能够处理大小不一重叠区的图片,计算区应该取得小(包含必要的匹配信息即可)。

4.5 无缝拼接

重叠区域确定后,拼接出来的图像一般是看不出缝隙的,但由于上面提到的图像间微小变化的存在,还是有必要对拼接区域进行平滑处理,因此本文采用 Szeliski 提出的图像平滑算法^[12],设对应两幅图像重叠部分像素值为 I_1 和 I_2 ,结果为 I_3 ,则

$$I_3 = g_1 \times I_1 + g_2 \times I_2$$

其中, g_1 、 g_2 是渐变因子,取值范围限制在 $(0, 1)$ 之间,并满足 $g_1 + g_2 = 1$ 的关系,在重叠区域中,按照从第 1 幅图像到第 2 幅图像的方向, g_1 由 1 渐变到 0, g_2 由 0 渐变到 1。

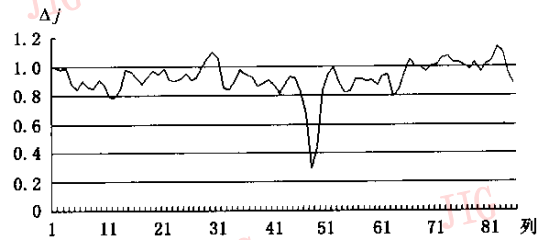
5 实验结果

本文以省人民医院远程医疗门诊用显微镜采集的病理切片图片 (512×512) 作为实验图片(图片是彩色的)。共进行了两类实验:(1) 拼接试验,即选择了各种不同类型(不同纹理,不同放大倍数)的切片图像 20 对,进行了配准试验;(2) 关于重叠区的试验,选择重叠区宽度为 $1/2$ 到 $1/5$ 图片的宽度。实验对 $390 \sim 500$ 、 $400 \sim 500$ 、 $410 \sim 500$ 、 $420 \sim 500$ (像素单位)共 4 种计算区进行计算。

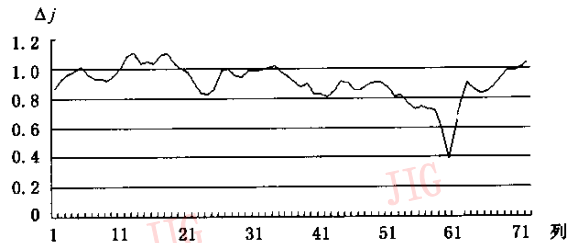
实验表明,选择小计算区(要足够大),可以拓宽对重叠区要求的范围,一般选择计算区宽度为 100 像素即可;特征行的间距 d 取 $10 \sim 25$ 像素为宜,因为 d 太大,会减少计算区域面积。结果表明,本算法配准结果比较理想,原来容易误配的图片,现在配准点的 Δ_j 值和它的邻近点的差距已明显地拉开,从而使得配准的稳定度有较大的提高。图 2 是原来容易误配的两对图片,用新算法得到的 Δ_j 分布图。由该图可以看到,配准点的 Δ_j 值有较强的唯一性。

图 2(a) 是图版 I 图 1 中的两个待配准原图像 A_1 、 B_1 的最小误差分布图,图 2(b) 是图版 I 图 2 中的两个待配准原图像 A_2 、 B_2 的最小误差分布图。

图版 I 图 1 和图版 I 图 2 是两组待配准的原图



(a) A_1 、 B_1 的最小误差分布图



(b) A_2 、 B_2 的最小误差分布图

图 2 采用新算法得到的最小误差 Δ_j 分布图

像和拼接后的结果图像,其中,图版 I 图 1(a)、图 1(b) 为待配准原图像 A_1 与 B_1 ,图版 I 图 2(a)、图 2(b) 为待配准原图像 A_2 、 B_2 ,拼接结果图像(图版 I 图 1(c) 和图版 I 图 2(c)) 中有黑条的是待配准原图像 B 的部分,没有黑条的是待配准原图像 A 的部分。虽然它们的纹理和颜色各异,但拼接情况良好。

实验环境: P IV 1.5G, Windows 2000, Visual C++ 6.0。在不计读写文件时间的情况下,运行时间为 40ms,其中用于比较和求误差的时间小于 10ms。若包括优化处理,则总的运行时间为 280ms。

6 结论

图片拼接虽是一项基础性的工作,但要能够做得较好也还有点难度。因为本文提出的算法有一定的面结构特征,所以比孤立的特征或行特征具有更强的结构性,其配准效果较好。由于图片因受采样时微小移转的影响而引起变化,因此选择多个采样距离进行优化是必要的。本算法比较规整,且稳定性较好,速度快,是一种比较实用的图像配准算法。

参考文献

- 何强,马颂德. 图象镶嵌技术理论、难点及应用[J]. 高技术通讯, 1998, (3): 20~24.
- Irani M, Peleg S. Improving resolution by image registration [J]. CVGIP: Graphical Models and Image Processing, 1991, 53 (3): 231~239.

- 3 Chen S E. QuickTime VR-An image-based approach to virtual environment navigation [A]. In: Proceedings Siggraph'95 [C]. Los Angeles, California, August 6~11, 1995: 29~38.
- 4 王立峰,潘志庚,石教英. 全景图像的拼合及优化算法[J]. 计算机应用研究, 1999, 16(6): 59~61.
- 5 钟力,张茂军,孙立峰,等. 360度柱面全景图象生成算法及其实现[J]. 小型微型计算机系统, 1999, 20(12): 899~903.
- 6 钟力,胡晓峰. 重叠图象拼接算法[J]. 中国图象图形学报, 1998, 3(5): 367~370.
- 7 牛小兵,温莉,赵美蓉,等. 基于特征的二维图象拼接测量法的关键技术研究[J]. 计量学报, 2002, 23(2): 147~150.
- 8 赵书俊. 时间序列脑功能成像中的图象配准[J]. 中国图象图形学报, 2000, 5A(5): 416~419.
- 9 史亮. 基于形状配准算法的研究与改进[J]. 安徽大学学报(自然科学版), 2001, 25(2): 86~90.
- 10 丁迎,洪继光. 图象拼接中伪匹配的判别和消解[J]. 中国图象图形学报, 1999, 4A(10): 86~89.
- 11 严慰敏等. 数据结构(C语言版). 北京:清华大学出版社, 1997: 16.
- 12 Richard Szeliski, Shum H Y. Creating full view panoramic image mosaics and environment maps [A]. In: Proceedings SIGGRAPH'97[C]. Los Angeles, CA, UA, 1997: 251~258.



王国钧 1946年生,1968年毕业于原杭州大学数学系计算数学专业,现任浙江省湖州师范学院信息工程学院副教授。主要研究领域为图像处理、算法设计与分析、计算机教育与应用等。



韩丽萍 1970年生,山西大学电子系讲师,2002年获山西大学硕士学位。主要研究领域为医学图像处理等。

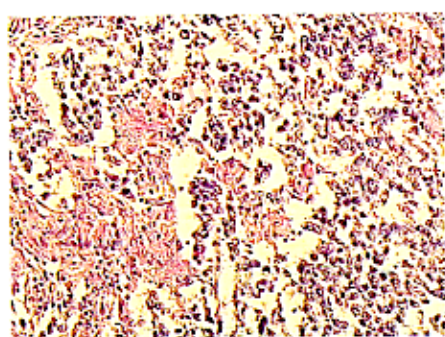


陈礼民 1936年生,山西大学计算中心教授,硕士生导师,湖州师范学院信息工程学院兼职教授。主要研究领域为图像处理,3-D的建模、绘制和简化。

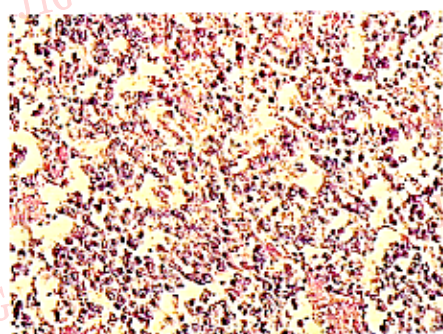
惠普图形工作站 xw6000——3D 动画设计的利器

惠普图形工作站 xw6000 具有典型的 Compaq 工作站的风格。在动画领域,对工作站的性能要求非常高,由于在遇到棘手任务处理的时候,通常快速反应的性能和时间上的连续性可以更好刺激创作灵感,因此具有一台性能优良的工作站十分必要。HP Workstation xw6000 采用了 2 个 Intel® Xeon™ 2.8GHz 处理器,由于 Netburst 微架构使工作站功能和效率能充分满足苛刻的设计应用需要,从而为海量实时数据的处理提供了强有力的工具。该款机器采用了 Intel E7505 芯片组来提高性能,并支持双通道 Ultra320 SCSI 驱动器、533MHz 系统总线、AGP 8X 图形、双通道双数据速率(DDR)SDRAM 等。尤其 533MHz 系统总线最大可以支持 8GB DDR 内存,其高容量、高速度系统性能可以满足大量复杂运算需要。在运行 3DMAX 制作三维动画时,模型的制作是最基本的一项任务,也是最考验机器性能的。HP Workstation xw6000 快捷的运行速度和稳定的性能,使得这项复杂繁琐的工作简单明了。在模型制作完成之后,为了使 3D 动画设计逼真,需要构造更多的物体细节,也就是需要采用更多精细的多边形来构成物体,有时候甚至需要对模型进行材质贴图以及光影运算,而惠普工作站则可以轻松地实现这一系列任务,并可保持在创作过程中思维的连续性。

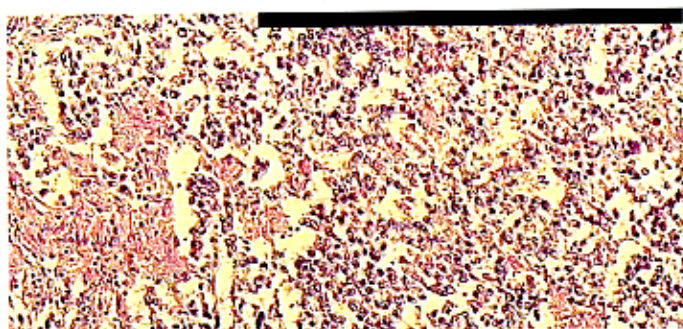
对于一个专业图形设计人员来说,工作站的显卡性能至关重要,因为它直接影响到图片的显示效果及工作的质量和效率,所以在选择显卡的时候对速度和画质的要求非常高。HP Workstation xw6000 除了具备性能卓越的显卡外,还提供了图形子系统的配置,这样不仅用户可以自己选择,而且其专业图形卡产品和强大的卓越性能相匹配,在涉及大量顶点和光线计算的项目中,表现更加出色。另外,由于 HP Workstation xw6000 的显卡可以支持多达 8 个显示器的显示,这样就可以从各个角度看到图像制作过程中的动态变化,使视野范围更加宽阔,以便更快速访问业界最出色的图形。



(a) 待配准图像 A_1

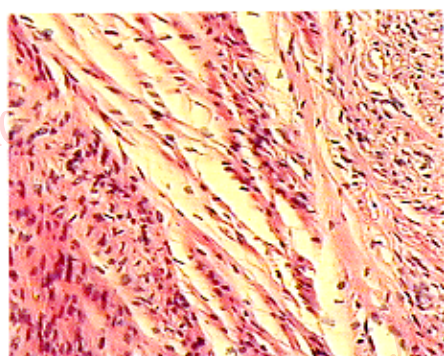


(b) 待配准图像 B_1

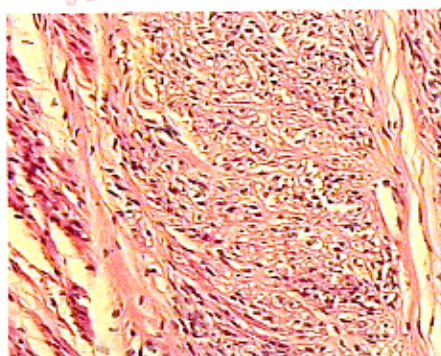


(c) 图像 A_1 和 B_1 的拼接结果

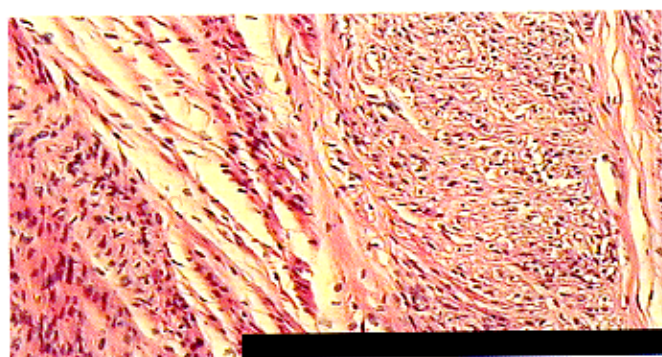
图1 待配准图像 A_1 和 B_1 的拼接



(a) 待配准图像 A_2



(b) 待配准图像 B_2



(c) 图像 A_2 和 B_2 的拼接结果

图2 待配准图像 A_2 和 B_2 的拼接