局解手术学杂志 2008年第17卷第5期
J Regional Anat & Operative Surg, 2008, Vol. 17, No. 5

·论 著·

亚像素断层图像配准数据集的建立

谭立文[1],胡 南[2],宋 林[1],吴 毅[1],张绍祥[1] (1.第三军医大学基础医学部人体解剖学教研室,重庆 400038;2.重庆大学生物工程学院,重庆 400030)

[摘 要] **目的** 针对数字化冰冻铣切断层图像的特点,探讨一种实用的高精度图像配准方法,建立基于数字化断层图像的亚像素级配准数据集。**方法** 采用冰冻铣切技术获取成年男性头颈标本的冰冻连续断层图像,在Matlab软件中自动提取定标点图像特征,采用基于2点的刚体变换算法实现图像的自动配准。**结果** 配准后图像定标点与基准配准点的误差小于1个像素,达到亚像素水平。**结论** 采用外定标的图像配准算法可建立亚像素级的配准数据集,定位标记物的准确识别是获得亚像素级配准数据集的保证。

[关键词] 图像配准;冰冻断层;数字化人体
[中图分类号] R322.92 [文献标识码] A [文章编号] 1672-5042(2008)05-0302-04

Construction of sub-pixel level registration data set for sectional images

TAN Li-wen, HU Nan, SONG Lin, WU Yi, ZHANG Shao-xiang (Department of Anatomy, Third Military Medical University, Chongqing 400038, China)

Abstract: Objective To further investigate the method of image registration and to construct a sub-pixel level registration data set for sectional images. **Methods** A middle-aged male frozen specimen sectional images of the head and neck were acquired using cryosectiome method. With the software of Matlab, the character of the ex-calibrator was acquired automatically, and the data set were auto-registrated based on two point projective transformation algorithm. **Results** After registration, the error between the ex-calibrator and the benchmark was less than 1 pixel, which has reached sub-pixel level. **Conclusion** Registration algorithm with ex-calibrator can construct a satisfying sub-pixel level registration data set for sectional images.

Keywords: image registration; cryosection; digital human

断层图像配准是指对于一幅断层图像寻求一种(或一系列)的空间变换,使它与另一幅断层图像上的对应点达到空间上的一致[1-2]。数字化可视人体和数字动物等数字化模型的原始数据是经数控机床加工成平面后,经相机数字化后而获得的[2],数据存在人为的、机械的或设备的误差,图像坐标体系不一致,影响数据集的后续研究和所建数字模型的精度。为此,本文根据冰冻铣切断层数据的获取特点,采用基于2点的刚体变换算法,建立一套基于Matlab软件的图像自动配准方法和软件,探讨高精度配准图像数据集建立的方法,以期建立亚像素级的数字化断层图像的配准数据集。

1 材料与方法

1.1 数据源

选择经10%福尔马林固定1年左右的男性成年尸体2具,自胸骨角平面横断,按矢状位截去两侧肩部,保留头颈部。将1例标本按矢状位,另1例标本按冠状位放置于冰冻包埋箱内冰冻,采用中国数字化可视人体数据集采集技术[2]获取头颈部矢状位、斜冠状位断层图像数据,图像大小为4 064×3 072像素,层间距为0.2 mm。

1.2 定标点坐标的获取

首先,对矢状位、冠状位的头颈部断层图像数据的定位标记物进行图像分析。定位标记物为乳白色硅胶管,其内填充了红色的明胶体。乳白色的硅胶管受周围蓝色明胶体的影响,在断层图像上表现为白色,略偏蓝色,其特征值与周围的包埋体相似或相同,不易自动获得其图像信息。管内的红色明胶填充物则表现为红色,其红色特征信息比周围的蓝色明胶包埋体的色彩明显,可采用图像处理的方法来自动获得定位标记物的重心坐标。

[基金项目] 国家自然科学基金面上项目(60771025);国家"863"课题(2006AA01Z310);重庆市"十一五"重大科技攻关项目(CSTC2006AA1005)

[作者简介] 谭立文(1968-),男,重庆市人,高级实验师,硕士,主要从事数字人体与数字医学方面的研究。电话:(023)68752225,E-mail:tlwtan@163.com

[通讯作者] 张绍祥,电话:(023)68752201,E-mail:zhangsx@mail.tmmu.com.cn

[收稿日期] 2008-06-30 [修回日期] 2008-07-25

其次，分析数字化断层图像上4个定标点最大位移量，以基准断层图像上的定标点中心像素坐标为中心，设置4个矩形的定标点分析范围，确保所有断层图像的定标点在分析范围内。分析定标点图像与周围背景图像RGB的分量(I_r、I_g、I_b)特征，根据红色分量与绿色分量的差值($I_{r\text{-}b}=I_r-I_b$)和红色分量与蓝色分量的差值($I_{r\text{-}g}=I_r-I_g$)来分割出定位标记点的图像，计算出定标点的重心坐标值。

本研究根据定位标记物的特征值，采用Matlab软件确定所有断层图像的4个自定义矩形框中符合红色定标物特征值的所有点的坐标值，并计算每个定位标记物的重心坐标，将计算的结果存入Excel文件中。

Matlab核心代码如下：

```
if (RGB(i,j,1) >80) && (RGB(i,j,1) - RGB(i,j,2) >
10) && (RGB(i,j,1) - RGB(i,j,3) >10)
    xy(k,kk,1) = xy(k,kk,1) + i;
    xy(k,kk,2) = xy(k,kk,2) + j;
    xy(k,kk,3) = xy(k,kk,3) + 1;
end
```

1.3 图像配准

从坐标值文件中选择第1 339至1 348层断层图像的4个定标点坐标值，计算每个定标点的重心坐标的平均值，4个定标点平均坐标值分别为P_1(356.883, 226.944)、P_2(3 646.889, 303.238)、P_3(3 607.516, 2 337.031)、P_4(353.793, 2 385.031)，以该4个平均坐标值为基准定标点，将所有断层图像上的定标点与之进行图像配准。从Excel文件中读取4个定标点坐标点作为配准点，分别计算每个配准点与标准配准点的x和y坐标的偏差值，以最小偏差值的2对配准点作为配准基准点，其余2对坐标值作为配准后的参考评价指标。以基于2对配准点的刚体变换算法来进行图像配准。

在Matlab中用cp2tform求坐标变换矩阵，用imtransform进行图像变换，并调整坐标体系。代码如下：

```
Aerial = imread(unregistered_image)
t_concord = cp2tform(input_points, base_points, 'projective');
registered = imtransform(Aerial, t_concord, 'bicubic',…
    'XData', [1 size(Aerial,2)], 'YData', [1
    size(Aerial,1)]);
imwrite(registered, file_name);
```

1.4 验证

1.4.1 连续图像观察 利用Matlab软件提供的图像裁切函数imcrop裁切配准图像中心区域500×400 pixels大小的连续断层图像，用AcdSee看图软件对裁切的图像进行连续观察，观察断层间的变化情况，记录有跳动的图像序号，分析出现图像配准偏差的原因，重新获取或根据规律计算出这些图像的定标点坐标，重新进行图像配准。

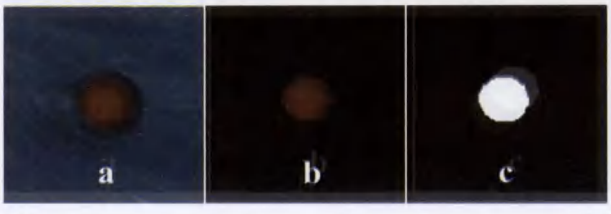
1.4.2 定标点坐标检测 采用相应的定标点坐标获取的方法获取配准图像上定标点的新坐标，对配准前后定标点坐标，在Matlab软件中计算各断层图像上定标点坐标与标准定标点坐标之间的x、y分量的差，分别记为$Dxi=x_i-x_0$和$Dyi=y_i-y_0$，当偏差最小的两个定标点的Dxi、Dyi任一分量差大于1时，用PhotoShop软件对该图像上任两个标记点进行红色值填充，再重新获取定标点坐标并进行自动配准，重新计算Dxi、Dyi值。搜索Dxi和Dyi的最大值，分别为$Sx=\mathrm{Max}(|Dxi|)$和$Sy=\mathrm{Max}(|Dyi|)$。当Dxi、Dyi的值均小于1时，则满足图像配准要求。

1.4.3 重采样图像验证 将配准后数据集中的颈部连续断层导入Amira可视化软件中，利用重采样功能获得两例标本的水平位断层图像，观察颈部皮肤边缘，如皮肤边缘无突变现象，则满足图像配准要求。

2 结果

2.1 定位标记物的中心坐标

对定位标记物及其周围背景图像的I_r、I_g、I_b、$I_{r\text{-}g}$、$I_{r\text{-}b}$等数值的分析发现，单一的RGB分量值无法区分出标记物图像，背景图像的$I_{r\text{-}b}$或$I_{r\text{-}g}$的最大值为0~5，一般为负值；定位标记物图像的$I_{r\text{-}b}$和$I_{r\text{-}g}$的值均大于10。当检测框范围内的像素值满足$I_{r\text{-}g}>10$和$I_{r\text{-}b}>10$时，如图1中的b所示，只包含了定位标记物的图像，无背景和冰晶的图像；c为标记物的分割图像，标记物图像呈圆形，分割准确，无背景杂色干扰。



a：原始图像；b：无背景图像；c：标记物分割图像

图1 标记物图像的自动分割



1：皮肤边缘；2：原始断层的明暗光带；3：声韧带；4：甲状软骨；5：环甲关节；6：颈总动脉

图2 经声韧带重采样断层(原始断层为矢状位)

根据定标点的RGB分量的特点，在Matlab软件中利用RGB分量的差值实现了对第2例头颈部冰冻铣切断层的定标点中心坐标的自动提取和自动配准。部分断层图像上定标点

局解手术学杂志 2008年第17卷第5期
J Regional Anat & Operative Surg,2008,Vol.17,No.5

配准前后的坐标值分别见表1和表2。所有原始断层中4个定标点的最大差值分别为:(65.365,117.118)、(79.809,53.911)、(70.449,59.526)、(163.606,191.214)。

表1 部分原始图像定标点坐标值

断层号	P_1(像素)		P_2(像素)		P_3(像素)		P_4(像素)	
	x	y	x	y	x	y	x	y
0400	335.766	198.491	3669.553	298.652	3631.714	2377.670	318.318	2320.074
0600	331.184	201.652	3661.424	292.635	3627.122	2375.749	314.953	2337.064
0800	328.526	207.207	3659.564	297.009	3624.312	2378.817	302.923	2352.794
1000	330.656	214.575	3662.067	300.432	3626.277	2377.095	298.549	2371.119
1200	356.159	224.859	3646.911	301.116	3607.436	2336.641	347.504	2381.395
1400	354.596	226.570	3645.520	301.216	3607.337	2333.856	359.229	2385.993
1600	350.842	227.761	3640.037	299.437	3603.795	2328.350	374.819	2388.123
1800	354.915	234.684	3636.545	309.155	3603.316	2336.569	391.793	2401.245
2000	355.056	232.608	3633.693	304.671	3605.574	2332.318	410.219	2407.638
……								

表2 部分配准图像有效定标点的新坐标值

断层号	P_1(像素)		P_2(像素)		P_3(像素)		P_4(像素)	
	x	y	x	y	x	y	x	y
0400	357.060	3646.802	3607.309	337.815	0	0	0	0
0600	357.008	3646.700	3607.360	335.419	0	0	0	0
0800	357.017	3646.631	0	0	227.235	303.545	0	0
1000	357.101	3646.586	0	0	227.188	303.403	0	0
1200	0	0	3607.436	337.504	227.859	303.116	0	0
1400	0	0	3607.356	360.567	227.393	303.443	0	0
1600	356.988	3646.862	0	0	227.209	303.431	0	0
1800	357.028	3646.711	3607.514	387.604	0	0	0	0
2000	357.042	3646.734	0	0	227.124	303.609	0	0
……								



1:皮肤边缘;2:声韧带;3:甲状软骨;4:环杓关节;5:淋巴结;6:环状软骨;7:颈总动脉;8:甲状腺上动脉

图3 经声韧带虚拟断层(原始断层为斜冠状位)

表2中"0"表示的定标点不是配准的参考点,其余数字为配准后定标点的坐标值。经统计分析,配准点坐标值与相应标准定标点之差大于1的断层图像有7层,大于2个像素的有3层。经重新标记、自动配准后的相应坐标值之差小于1个像素。所有配准后断层中配准点与相应标准定标点的最大偏差(Sx,Sy)为:(0.984,0.968)。

2.2 配准数据集的验证

对配准后的图像采用看图软件进行了快速观察,在完整图像的连续观察中,除7层配准误差超过1个像素的图像外,其余定标点和标本图像均能平滑过渡,无跃变现象。7层误差较大的图像经人工干预处理后,断层图像间的浏览均能平滑过渡,达到图像配准要求。在重采样的水平位图像上,可观察到颈部皮肤边缘过渡平滑,无突变现象,满足图像配准的需求(图2、图3)。

3 讨论

3.1 图像配准的意义

数字人体冰冻铣切断层是利用精度较高的数控加工设备对包埋后的标本冰体进行铣切,每铣切一层就

用数码相机按固定的参数获取数字图像[2-3]。在理想情况下,该方法获得的所有图像均具有相同的坐标系。但在数据获取过程中,由于人为误操作、机械故障、相机参数变化、标本冰体进位误差、系统误差等因素会造成序列图像的坐标体系不完全一致,造成某些断层数据的X、Y平面坐标体系出现偏差,这种偏差主要体现为图像偏移、缩放和旋转。从表1和表2中可以看出,原始断层图像偏差较大,多的超过150个像素。图像配准的目的就是调整所有断层序列的图像具有相同的坐标体系。配准的结果同一例断层标本具有相同的坐标体系。一个好的配准结果应达到亚像素配准级别[4],即断层图像上的解剖点与实际的坐标位置相差小于1个像素值。高质量的图像配准是高精度数字模型建立和人体组织结构精确数字测量的保证[2,5],是数字人体研究中不可缺少的步骤。

3.2 图像配准算法

在众多的图像配准算法中[2,6-7],以基于外部特征点的图像配准算法最经典,其处理速度快,配准精度高。不同的数据源采用不同的图像配准算法,医学断层图像的配准常根据2个定标点来配准断层序列图像[8]。在数控铣切加工过程中,进位方向与铣切面垂直,与相机成像方向相同。所以,在配准算法中可考虑基于2个定标点的刚体变换。当相机的像轴与铣切面不垂直时,则应采用仿射变换或投影变换。标本作进位调整或重新装夹时,其像轴与铣切面的夹角也会发生轻度变化,为保证配准精度,也应采用仿射变换或投影变换[9-10]。在头颈部标本断层数据的采集过程,标本块的进位和重新装夹采用百分表严格控制,其进位偏差较小,左右偏转小于0.08 mm,小于1个像素的大小,在配准计算时可以忽略仿射变换和投影变换的情况。本文根据2对定标点的坐标位置,利用Matlab软件提供的关于图像配准的函数对数据集进行了图像变换[10],图像配准的一致性较好,精度较高。

3.3 配准标记物的识别

头颈部的配准标记物为白色硅胶管,其内填充红色明胶体。受蓝色明胶包埋体的影响,白色硅胶管在图像上表现为蓝白色,与背景图像中冰晶颜色近似,无明显的特征信息,不易自动提取。红色明胶体在图像上表现为红色或暗红色,其红色信息特征值较明显,与蓝色背景和白色的冰晶相差较大,即使有冰晶碎末沾染,也有明显的区别,便于自动分割、提取。本文采用红色分量,以及红色分量与绿色、蓝色分量之差来自动提取定标点图像,并计算其重心坐标,以尽量减小误差。由于硅胶管内的红色明胶体是人为灌注的,在部分区段存在不饱满现象,特别是位于包埋体两端的明胶体,从而影响定位标记物坐标位置的精确获取。为排除背景杂色、红色明胶体充盈度对定标点坐标获取的影响,本研究根据图像数据采集的特点,分析4个定标点坐标值与标准定标点坐标值误差的规律,确定了以其中两个误差相对较小的定标点作为配准定标点,采用基于2点的刚体配准算法对整个数据集进行了图像配准,除个别断层图像由于红色明胶体的杂质的影响,需要人工干预外,其余断层均能一次获得较精确的配准,配准精度在1个像素以内,达到了亚像素配准标准[11-14]。如直接采用红色的实心硅胶棒作为定位物将会避免该现象,经后期的实验证明用红色实心的硅胶棒作为定位标记物,其坐标点获取的自动化程度和精度更高,从而提高了图像配准精度和速度。

[参考文献]

[1] 郑亚琴,田 心.医学图像配准技术研究进展[J].国际生物医学工程杂志,2006,29(2):88-92.
[2] Zhang SX,Heng PA,Liu ZJ. Chinese visible human project[J]. Clin Anat, 2006,19(3):204-215.
[3] Ackerman MJ, Spitzer VM, Scherzinger AL, et al. The Visible Human data set: an image resource for anatomical visualization[J]. Medinfo, 1995,8 pt^2:1195-1198.
[4] Temkin B,Vaidyanath S,Acosta E. A high accuracy, landmark-based, sub-pixel level image registration method[J]. International Congress Series, 2005,1281:254-259.
[5] 谭立文,王忠贵,张绍祥,等.数字化可视人体连续断层标本的参数测量[J].解剖学报,2005,28(2):195-197.
[6] 文杨天,李 征,吴仲光.基于SUSAN算法的图像配准[J].计算机应用,2006,26(10):2380-2382.
[7] 张红颖,张加万,孙济洲.基于混合互信息的医学图像配准[J].计算机应用,2006,26(10):2351-2353.
[8] 张绍祥,刘正津,何光篪,等.生物塑化薄层连续断面的计算机三维重建[J].解剖学报,1996,27(2):113-118.
[9] 罗 军,宋 新,沈振康.两阶段平移、旋转图像高精度配准算法[J].红外技术,2007,29(3):178-181.
[10] 胡 涛,汪 强,张志刚.基于Matlab的图像融合方法[J].计算机工程,2003,29(4):177-178.
[11] 肖 崙,谭立文,宋 林,等.连续断层图像立体重采样评估[J].第三军医大学学报,2007,29(3)193-195.
[12] 张绍祥,王平安,刘正津,等.首套中国男、女数字化可视人体结构数据的可视化研究[J].第三军医大学学报,2003,25(7):563-565.
[13] 毕思文,景东升.数字人体数据质量标准[J].中国医学影像技术,2004,20(5):781-785.
[14] 王立功,于甬华,罗立民.医学图象体数据场的剖切显示方法[J].中国图象图形学报,2003,8(A)(7):769-773.

(编辑:余汇洋)