

基于投影的fMRI时间序列图像配准方法研究

罗 葵¹, 陈华富², 尧德中¹

(1. 电子科技大学生命科学与技术学院 成都 610054; 2. 电子科技大学应用数学学院 成都 610054)

【摘要】利用投影技术, 针对功能磁共振时间序列图像, 介绍了一种新的自动图像配准方法。该方法将序列图像二值化后沿着水平方向或垂直方向进行投影, 根据投影向量元素的位置和大小, 快速地计算出图像的旋转、平移运动的变化参数。仿真实验和实际的功能磁共振应用证实了该方法的有效性。

关键词 图像配准; 投影; 功能磁共振; 仿真

中图分类号 R445.2 文献标识码 A

fMRI Time Series Image Registration Using Projection Technique

Luo feng¹, Chen Huafu², Yao Dezhong¹

(1. School of Life and Technique, UEST of China Chengdu 610054; 2. School of Applied math., UEST of China Chengdu 610054)

Abstract A new automatic image registration method was presented in this paper, which was based on projection technique and suitable for functional magnetic resonance imaging times series images. The binary times series images were projected onto the horizontal orientation or the vertical orientation, and the arguments of rotation and translation were calculated according to the elements of the projection vectors. The method was proved to be validated by the results of the simulation experiment and the application of functional magnetic resonance imaging data.

Key words image registration; projection; functional magnetic resonance imaging; simulation

功能磁共振(functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI)是20世纪90年代发展起来的一种新的成像技术, 是目前人们所掌握的一种较好的无侵入、无创伤、可精确定位的人脑高级功能研究手段。因此, fMRI一出现就受到神经、认知和心理学等领域的极大关注^[1]。在脑功能成像实验中, 为了获取具有统计意义的结果, 需要进行多次实验, 每个实验序列可以取到几十甚至上百次的扫描。但是, 由于被试者在时间序列采样过程中, 不可避免地存在物理头部运动(轻微的左右摆动或点头等)和生理头部运动(心跳, 呼吸等), 从而造成时间序列图像在空间位置上的差异。为了对脑功能图像进行统计分析, 不同时间序列图像间的空间位置必须完全对应, 即我们必须对fMRI时间序列图像进行配准。

国内外已提出了多种对fMRI时间序列图像配准的方法, 如基于Woods函数、联合熵、相关系数、互信息等方法, 但这些方法的计算量都很大。本文介绍一种基于投影的时间序列图像的配准新方法^[2], 通过把二维图像变成沿着水平方向或垂直方向的向量, 根据投影向量元素的大小和位置, 简单快速地找出刚体变换的旋转角度和平移变换量。

收稿日期: 2003-11-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30200059/90208003); 教育部科学技术研究重点项目(02065)

作者简介: 罗 葵(1976-), 女, 硕士, 主要从事医学图像与信号处理方面的研究。

1 配准方法

1.1 投影法

在医学图像配准的过程中,通常将一幅图像不动,而对另一幅图像作变换,一般称不动图像为参考图像RI(Reference Image, RI),作变换的图像为浮动图像FI(Floating Image, FI)。本文在配准前,假设:1) 设头部运动为刚体运动,即一幅图像中任意两点间的距离变换到另一幅图像中后仍然保持不变;2) 头部运动相对较小,在配准过程中目标对象不会越出图像的边界;3) 系列图像的灰度信息差别不大。下面以两幅图像之间的配准为例,讨论投影法配准的全过程。

1) 提取图像特征

对参考图像和浮动图像给定一个阈值 T (设阈值 T 为灰度均值的2.5倍),二值化浮动图像和参考图像,如图1所示。

2) 投影

设待配准图像(图1c, 图1d)是两幅 $m \times n$ 的二值图,本文将其沿着水平方向投影,得到投影向量 FX 和 RX 。由于两个向量皆是 m 维的向量,不易表示。采用向量曲线图形象地表示两个投影向量,如图2所示。其横坐标表示向量元素的位置;纵坐标表示向量元素的大小,即该垂直方向上灰度值为1的像素个数。同理图像可沿着垂直方向投影,得到类似的投影向量。

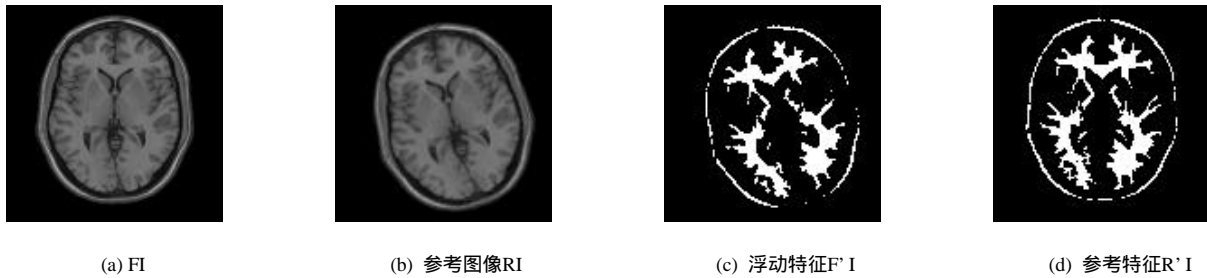


图1 提取图像特征

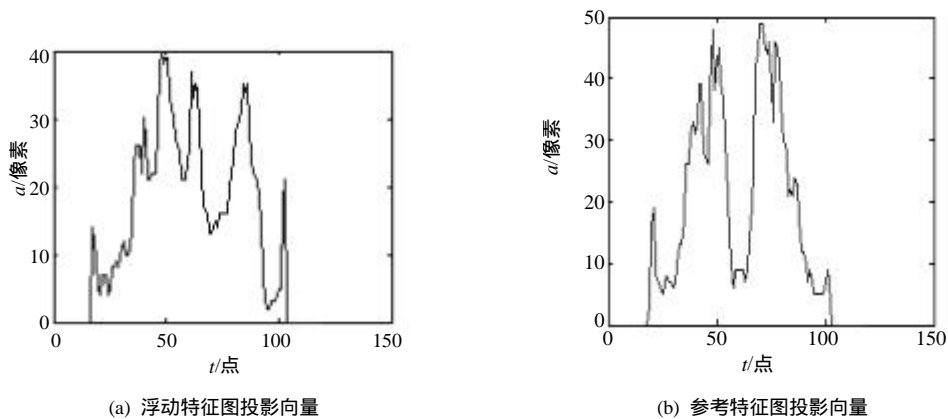


图2 投影向量曲线图(横轴表示点的位置,纵轴表示信号的幅度置)

3) 调整投影向量元素位置

设浮动图像和参考图像的特征图像投影向量分别是 FX 和 RY ,其表达式为:

$$\begin{cases} FX = [FX(1), FX(2), \dots, FX(u), FX(u+1), \dots, FX(v), \dots, FX(128)] \\ RX = [RX(1), RX(2), \dots, RX(i), RX(i+1), \dots, RX(j), \dots, RX(128)] \end{cases} \quad (3)$$

假设向量 FX 的第一个非零元素和最后一个非零元素位置分别是 u, v ;而向量 RX 的第一个非零元素和最后一个非零元素位置分别是 i 和 j 。我们把向量 FX 和 RY 的分量元素进行简单的重排,把第一个非零分量后面所有的元素一起向前调整,使调整后的向量第一个分量为非零元素。故上面的等式改写成:

$$\begin{cases} FX' = [FX(u), FX(u+1), \dots, FX(v), \dots, FX(128), FX(1), FX(2), \dots] \\ RX' = [RX(i), RX(i+1), \dots, RX(j), \dots, RX(128), RX(1), RX(2), \dots] \end{cases} \quad (4)$$

4) 寻找配准参数

在对图像进行旋转时, 本文选定旋转的基准点是二值化后的图像质心, 旋转方式决定了特征图像的质心不会改变, 这为寻找平移参数提供了一个很好的思路。根据找出的浮动特征图像 F' 和参考特征图像 R' 的质心 C_F 和 C_R , 很快就能得到平移参数。设特征图像的灰度值为 $R'(x,y)$ 和 $F'(x,y)$ 。可以求得其质心的位置分别为 $C_r(r_x, r_y)$ 和 $C_f(f_x, f_y)$ 。其计算公式如下:

$$\begin{cases} r_x = \frac{\sum_{x=1}^n xR'(x,y)}{\sum_{x=1}^n R'(x,y)} & r_y = \frac{\sum_{y=1}^m yR'(x,y)}{\sum_y R'(x,y)} \\ f_x = \frac{\sum_{x=1}^n xF'(x,y)}{\sum_{x=1}^n F'(x,y)} & f_y = \frac{\sum_{y=1}^m yF'(x,y)}{\sum_y F'(x,y)} \end{cases} \quad (5)$$

由质心位置坐标可得平移参数为:

$$\begin{cases} m_x = f_x - r_x \\ m_y = f_y - r_y \end{cases} \quad (6)$$

根据式(4)再观察调整后的新向量 FX' 和 RX' , 不难发现这样一个规律——对浮动图像 F 进行旋转变换, 当 F 旋转到一定的角度时会有:

$$\sum_{i=1}^m |FX'(i) - RX'(i)| \approx 0 \quad (7)$$

据此即能找出图像的旋转参数 q 。

1.2 配准优化

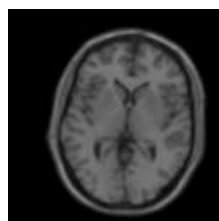
时间序列图像的配准是几十或几百幅图像的校正过程, 如果每配准一张图像都进行旋转搜索花费时间30 s, 那么配完500幅图像将耗费时间4 h, 给临床诊断带来极大的不便。为节省配准的时间, 本文以参考图像制作一张配准量表 RR , 该表记录了参考图像 R 沿着其特征图像 R' 质心 CR 在正负 10° 内, 以步长 0.1° 旋转后得到的一系列投影向量。量表 RR 的每个行向量代表参考图像 R 先经过某个旋转变换, 再二值化投影, 最后调整向量元素位置而得到的投影向量。通过改进, 每次配准时将待配准图的投影向量, 与投影向量表每一个行向量比较, 找出相差系数最小的, 其行标按一定的规则运算后就是偏差角度。

2 实验结果

如图3所示, 先以一幅已知旋转和平移变换量的MRI图像与原图像用投影法进行仿真验证, 设参考图像(图3a)沿着其二值化图像的质心顺时针旋转 5° , 沿着水平方右移5.6个像素, 垂直向下移动4.5个像素得到浮动图像(图3b)。通过投影法对浮动图像进行配准, 得到配准参数分别是: 逆时针方向沿二值化浮动图像质心旋转 5.0° , 水平向左的平移量是5.8像素, 垂直向上平移4.4个像素。可见该投影法的可用于单模态图像的亚像素级的配准。



(a) 是参考图像



(b) 是浮动图像

图3 仿真图像

如图4所示是一组呈现在视野正中,频率为8 Hz、光强为 200 cd/cm^2 ,视角为 2° 的红色点光源刺激所得到的fMRI时间序列图像。本文采用上述的投影法对第三层的序列图像进行配准,把配准前后的序列图像进行统计分析的相关性分析^[3,4],得到图5所示的fMRI的成像结果图。图中黑点表示由红色点光源刺激引起的脑区兴奋体元。从生理上讲,由视觉刺激引起的脑区兴奋体元应主要集中在枕叶外侧部视觉功能区,虽然不能保证配准后能得到纯净的功能信号,但配准后图像伪兴奋点大大减少,从而验证了投影法对时间序列图像配准的可行性。



图4 fMRI时间序列图像

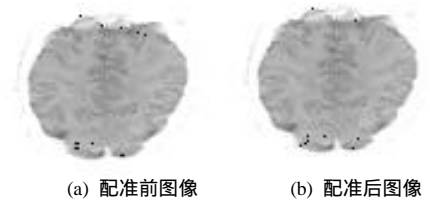


图5 统计分析结果图

3 结 论

本文基于投影技术,给出一种新的功能磁共振图像的自动配准方法。通过投影,把二维图像配准过程转化为投影向量与配准向量表的简单比较,使得计算代价大为降低。仿真实验和实际的功能磁共振应用表明该投影配准技术是有效的。

参 考 文 献

- [1] Belliveau J W, Kennedy D N, Mckinsty R C, *et al.* Functional mapping of the human visual cortex by magnetic resonance imaging[J]. *Science*, 1991, 254(5032): 716-719
- [2] 陈华富, 周 群, 尧德中. 一种新的fMRI投影图像配准技术[J]. *电子与信息学报*, 2002, 24(增): 92-95
- [3] Chen H, Yao D, Becker S, *et al.* A new method for fMRI data processing: Neighborhood independent component correlation algorithm and its preliminary application[J]. *Science in China (Series F)*, 2002, 45(5): 373-382
- [4] 陈华富, 尧德中, Becker S. 一种新的fMRI数据处理方法: 邻域独立成分相关法及其初步应用[J]. *中国科学, E辑*, 2002, 32(5): 685-692

编 辑 徐安玉