

基于角点特征和最大互信息的图像配准^①

程有娥

(浙江工贸职业技术学院 信息传媒学院, 温州 325000)

摘要: 基于互信息的配准方法是图像配准领域的重要方法。互信息是图像配准中常用的相似性度量,具有鲁棒、精度高等优点,但基于互信息的配准计算量大,制约了它的实际应用。文章提出一种基于角点和最大互信息配准方法:首先采用间接算法来计算曲率的极大值点,从而能快速准确的提取角点集;接着计算两幅图像角点集间的互信息,最后通过 POWELL 算法搜索使互信息最大以实现配准。实验表明,该算法计算简单,配准速度快,具有更好的精确性和鲁棒性。

关键词: 图像配准; 互信息; 角点; POWELL

Image Registration Based on Mutual Information and Corner Points

CHENG You-E

(Zhejiang Industry & Trade Polytechnic, Wenzhou 325000, China)

Abstract: Registration based on mutual information is a typical method in medical image registration. Mutual information is a common similarity measure in image registration, which has excellent robustness and accuracy, but large calculation amount makes it difficult to be applied to clinics. A maximization of mutual information based image registration method is described. Firstly Because of using maximum mutual information to image registration have inferiority, the registration based on local curvature maximum to obtain corner points. Then, the one to one matching points could be obtained through mutual information rough match. Experimental results indicate the proposed algorithm can achieve better accuracy and good robust.

Key words: image registration; mutual information; corner point; powell algorithm

1 引言

图像配准是对不同视场、不同时间、不同成像模式的两幅及两幅以上图像进行几何变换,能使得各个图像经过变换后在几何上能够匹配。图像配准的主要目的是抑制或者去除参考图像和待配准图像之间几何位置上的不一致。互信息作为信息论中的一个基本概念,主要是用来描述两个随机变量的统计相关性。在图像配准中,对于来源于不同的成像设备或者拍摄于不同的成像时间的待配准图像,图像之间互信息最大的前提是它们的图像空间位置完全一致。因此图像配准的配准测度可以用互信息来表示,即当两幅图像的最佳配准位置就是它们的互信息达到最大的位置。也

就是说,任何模式的图像都可以用互信息来进行配准,尤其是在当其中一个图像的数据部分不完整的情况下,应用互信息也能取得较好配准效果。虽然目前基于最大互信息的配准方法在实际应用中取得了极大的成功,但是由于使用互信息进行图像配准时通常存在一个隐性的假设,即在配准结果的附近,可以可靠的估计对应体素亮度的联合概率分布,所以,导致基于最大化互信息的图像配准在某些情况下依然会出现失败的例子。而这个假设又要求在实际的配准过程中,互信息值是通过图像重叠区域的联合直方图估计的方法得到。假设待配准图像的分辨率很低或者图像之间的误配情况比较严重时,将导致图像重叠区域较小。

^① 基金项目:温州市科技项目(H20090053)

收稿时间:2012-01-05;收到修改稿时间:2012-02-17

而且联合直方图的迭代将会是一个费时的过程,互信息函数会出现许多局部极值,这些极值会导致互信息的局部极大值与配准位置不一致,造成误配甚至错配。

国内外学者提出了多种解决基于最大互信息配准的不足的改进方案, Josien 则将互信息与图像的空间梯度信息相结合的方法,进行配准,取得了比较好的效果^[1]。Loutas^[2]利用小波变化或其他边缘检测方法,获得两幅图像的轮廓信息,利用聚类分析法求出轮廓特征点,并定义这两个集合的互信息,使之最大化以达到配准。孙淑一利用小波变换来提取图像边缘的同时计算两幅图像之间的交互方差,并通过基于交互方差来实现图像配准^[3]。

为了减少互信息的计算量,加快配准速度,避免出现误配,获得满意的配准结果。我们采用基于角点特征的互信息配准方法。因为角点是曲线的斜率变化发生突变的点,即曲线中具有局部曲率极大值的点,决定图像的轮廓特征。一旦找到了图像的角点就能大致掌握了图像的形状。虽然角点相对于其他的特征点来说数量较少,但是角点是最能反映图像变换的点,如果使用其他特征点来实现图像配准,必然会提高算法的复杂度,导致计算时间的增加。如果从提高运算速度,同时又不降低配准的精度来考虑,角点是一种比较好的配准特征。因此在本文中我们要对基于角点特征的图像配准做一些探讨。

2 角点的提取

角点是指沿图像边缘曲线上的曲率局部极大值点,或者在一定条件下可以放宽为曲率大于一定阈值的点。也就是说,角点是指图像上在二维空间内灰度和边缘方向变化剧烈的点,和周围的邻点有着明显差异。目前普遍是利用曲率局部极大值的方法来提取角点,因此在提取角点过程中,关键是如何计算曲率的问题。在离散曲线中,我们无法通过公式准确的计算出某一点的曲率值,因而我们通过各种方法来计算曲率的某种近似值,并以此作为曲率。当前计算曲率主要有两种方法:余弦法^[4]和弦长比法^[5-7]。上述两种方法不仅计算过程比较复杂,而且都是直接利用曲线上点的坐标来计算曲率,计算时间较长。基于上述原因,本文提出了一种新的计算角点的算法。该算法同余弦法和弦长比法相比,算法简单、易于实现,并且对任意形状的曲线都适用,能快速准确的找出复杂曲线上

的角点信息。

2.1 算法思想

设 $p(i) = [x(i), y(i)] (i = 0, 1, 2, \dots, n-1)$ 为某一闭合边缘轮廓点序列点,该序列的起始点为 $p(0)$, $p(i)$ 是该序列中第 i 个点,伴随着 i 值的增大, $p(i)$ 从起始点 $p(0)$ 开始沿逆时针方向行进一周后又回到 $p(0)$ 点。在闭合曲线上中,由于 x 和 y 只表示坐标,它们之间是非函数关系,因此 $x(i)$ 与 $y(i)$ 能决定 $p(i)$ 点的坐标。我们将 $p(i)$ 分解为两条一维离散曲线 $x(i)$ 和 $y(i)$, $x(i)$ 随 i 的增大为 $p(i)$ 在水平方向上的变化, $y(i)$ 为 $p(i)$ 在竖直方向上的变化。因此,在曲线 $p(i)$ 上提取角点的过程就转换为分别提取曲线 $x(i)$ 、 $y(i)$ 上的角点。

2.2 算法设计

对曲线进行角点检测时,由于我们是通过曲率绝对值的大小(即曲线斜率变化绝对值的大小)来判断该点是否为角点。因此曲率本身的准确值我们并不需要知道,只需根据该点所对应曲率绝对值的大小来进行取舍即可。我们设该数值为 q ,下面以 $x(i)$ 为例来说明 q 值的计算。

通过数值分析,我们知道对于离散的函数 $x = x(i)$

表 1 离散函数

i	0	1	2	3	...	n-1
x	x(0)	x(1)	x(2)	x(3)	...	x(n-1)

(见表 1)其中 $i=0, 1, 2, \dots, n-1$ 为等距节点,由插值原理可得:

$$x''(i) \approx \frac{1}{h^2} [x(i-h) - 2x(i) + x(i+h)] \quad (1)$$

由于曲线上该点的二阶导数近似等于该点的曲率,设 $x(i)$ 上第 i 点的曲率为 k ,则可将(1)式转换为:

$$k \approx \frac{1}{h^2} [x(i-h) - 2x(i) + x(i+h)] \quad (2)$$

对于大多说图像来说,存在噪声。考虑到数字化及噪声的影响,在本算法中取步长 $h=10$ 且令 $q = |h^2 \times k|$ 则有:

$$q = |x(i-10) - 2x(i) + x(i+10)| \quad (3)$$

进一步变形得:

$$q = |x(i-10) - x(i) - x(i) + x(i+10)| \quad (4)$$

同理, 可用同样的方法求出 $y(i)$ 中各点的 q 值, 在此不再重复。

通过上面的方法求出曲率的近似值 q , 则获取曲线上角点的算法描述如下: 在曲线上以相邻且其曲率 q 值全都大于 0 的点序列作为一个局部曲线段, 在该曲线段上设置阈值 T , 找出该段曲线中 q 值最大的点, 比较 q 值和 T 值的大小并做如下标记: 若该点的 q 值大于阈值 T , 则将该点标记为角点, 否则该点不是角点。具体设计如下:

- (1) 求曲线 $x(i)$ 上的角点
- (2) 求曲线 $y(i)$ 上的角点
- (3) 综合 $x(i)$ 与 $y(i)$ 上的角点, 求原曲线 $p(i)$ 上的角点集。

3 互信息

互信息是信息论中的一个概念, 它被引入到图像配准中, 用来描述两个随机变量统计相关性的测度。通常可以用 Shannon 熵来描述两个系统间的统计相关性。Shannon 熵所表达的是一个系统的不确定性或复杂性。在多模图像配准中, 不同成像模式的图像在灰度级差别上并不相似, 但对同一解剖结构, 对应像素点间灰度统计是相关的^[8], 并非独立的。一幅图像中像素灰度的分布情况可以用这幅图像的熵来表示, 熵就越大, 灰度越分散, 灰度级别越多。熵的定义如式(5)所示:

$$H(A) = -\sum_a p_A(a) \log P_A(a)$$

$$H(B) = -\sum_b p_B(b) \log P_B(b) \quad (5)$$

$$H(A, B) = -\sum_a p_{A,B}(a, b) \log P_{A,B}(a, b)$$

$$H(A|B) = -\sum_a p_{A,B}(a|b) \log P_{A,B}(a|b)$$

式中: $H(A)$ 是 A 的信息熵, $H(B)$ 是 B 的信息熵, $H(A|B)$ 为给定 B 的条件下 A 的条件熵, $H(A, B)$ 为 A 和 B 的联合熵, $a \in A, b \in B, P_A(a)$ 和 $P_B(b)$ 为图像 A 和 B 的概率分布, $P_{A,B}(a, b)$ 为两幅图像的联合分布。

F.Maes^[9]和人工智能实验室的 P.Viola^[10]分别独立地提出多模态图像配准的最大互信息法。当两幅图像中表达同一内容的像素在几何上一一对应时, 互信息取得最大值^[11,12], 它直接利用图像的灰度数据进行配准, 具有精度高, 不需预处理且能自动配准的优点^[13]。互信息的定义为:

$$I(A, B) = H(A) + H(B) - H(A, B)$$

$$= -\sum_{a,b} P(a, b) \log \frac{p(a, b)}{p(a) * p(b)} \quad (6)$$

4 基于角点与最大互信息的配准

由式(6)可知当两幅图像进行配准时, 两幅图像的空间位置将达到一致, 图像之间的联合信息量 $H(A, B)$ 最小, 互信息 $I(A, B)$ 最大。因此基于互信息测度下的图像配准可以表示为:

$$f = \arg \max I(A, f(B)) \quad (7)$$

其中: $f(B)$ 表示对图像做空间变换。

在图像处理的过程中, 图像部分像素的缺失、噪声的影响、不同成像模式之间的差异都会导致空间灰度相关性的变化。这些变化对不同配准测度产生影响, 从而影响图像配准过程。为了有效地避免上述问题, 本文把角点和互信息有效地结合起来, 建立了一种新的匹配则。

假定从两幅图像中分别提取出形状特征点的集合 $X = \{X_i, i = 1, 2 \dots N_1\}$ 和 $Y = \{Y_i, i = 1, 2 \dots N_2\}$, X_i 和 Y_i 表示形状特征点在二维平面中的坐标, X 和 Y 表示图像中对应的角点分布信息。在空间变换关系 f 的作用下, 点集 X 和 Y 的互信息为:

$$MI(x, y) = \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} P_{ij} \log \frac{P_{ij}}{\sum_{k=1}^{N_1} P_{kj} \sum_{l=1}^{N_2} P_{il}} \quad (8)$$

其中 P_{ij} 表示特征点 X_i 和 Y_i 的联合概率。

基于角点特征与最大互信息的图像配准就是寻找一个空间变换关系, 使得经过该空间变换后两幅图像间的互信息达到最大^[14]。本文采用无需梯度计算的 POWELL^[15]优化算法进行变换参数的搜索, 搜索使互信息达到最大值对应的空间变换参。因此本文的配准步骤如下:

Step1: 输入基准图像 I_1 与待配准图像 I_2 , 分别进行灰度化得到 I_1' 与 I_2' 。

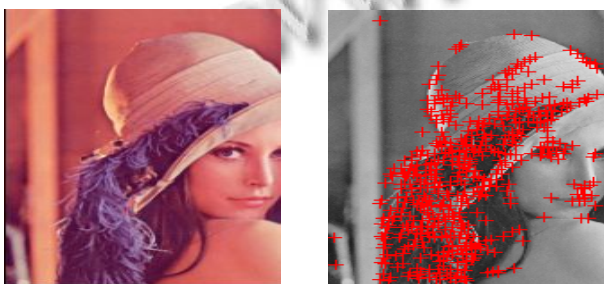
Step2: 对 I_1' 与 I_2' 分别利用本文算法提取角点, 则可得角点的坐标矩阵 H_1 与 H_2 。

Step3: 对由 2)得到的特征角点矩阵 H_1 与 H_2 , 计算它们的互信息。

Step4: 利用 POWELL 优化算法, 通过不断改变空间变换参数的值进行搜索使互信息的值达到最大, 实现图像配准。

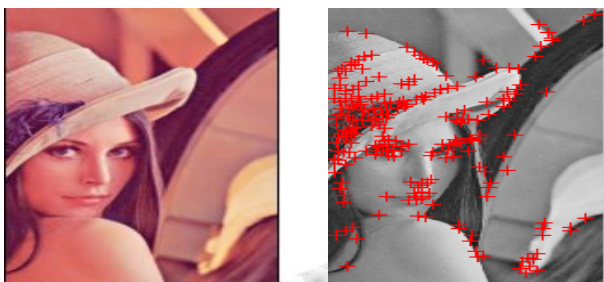
5 实验结果

笔者选取基准图像 lena_left 与待匹配图像 lena_right, 采用采用本文所提出的方法进行图像配准, 结果如图 1 所示和加入高斯白噪声 (噪声方差为 0.05) 后含噪基准图像 lena_left 与待匹配含噪图像 lena_right 的含噪图像, 采用采用本文所提出的方法进行图像配准, 结果如图 2 所示。



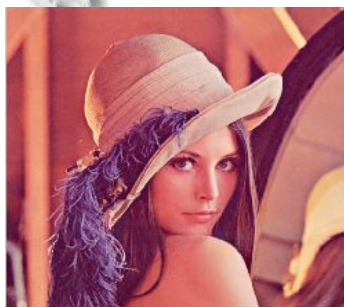
(a) 基准图像 lena_left

(b) 基准图像角点提取



(c) 待匹配图像 lena_right

(d) 待匹配图像角点提取



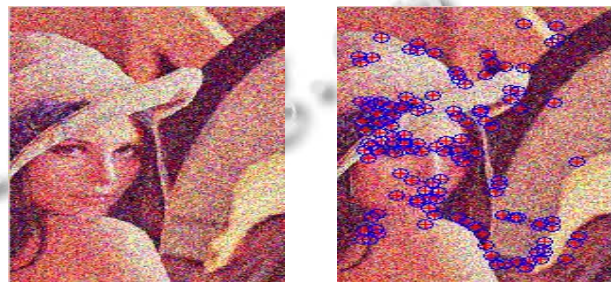
(e) 配准后图像

图 1 本文方法 lena 图像配准



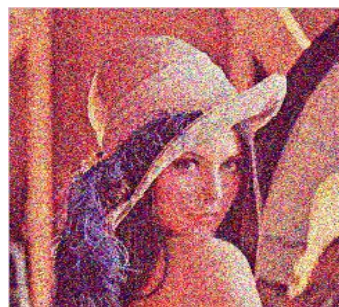
(a) 基准图像

(b) 基准图像特征点提取



(c) 待匹配图像

(d) 待匹配图像特征点提



(e) 配准后图像

图 2 本文方法含噪 lena 图像配准

从图 1 和图 2 可以看出, 本文方法对基准图像和含噪图像的配准效果多比较好, 对噪声具有较强的鲁棒性。

为了定量地比较本文提出的图像配准算法性能的优劣, 将传统的采用互信息作为配准测度和本文的方法做比较, 这两种方法的对比结果见表 2。

表 2 配准结果对比表

配准方法	互信息		本文方法	
	图1	图2	图1	图2
配准图像	图1	图2	图1	图2
匹配正确率 (%)	88.3	84.6	96.2	93.8
配准所需时间(S)	20.4	41.3	11.5	28.0

从表 2 可以看出, 互信息的方法虽然可以在一定程度上避免图像旋转等因素的影响, 但在配准过程中

运算量很大,也只利用了局部信息,没有考虑全局位置信息,图像配准准确率不高。而本节方法则充分利用了图像的信息,因此图像配准的效果较好。同时,本文利用间接方法提取图像角点,并获得角点集间的互信息,只计算量大为减少,因而本文方法在保证较高配准准确率的同时,配准的速度也较快。

5 结论

基于角点的最大互信息的图像配准方法,由于所用空间变换和互信息计算是对若干个空间点的坐标直接进行,避免了对灰度图像作变换时的插值;因而具有计算量小、速度快的优点。同时,该方法对噪声、光照差异等因素不敏感,图像的配准结果较好,具有较强的鲁棒性。

参考文献

- 1 Josien P, Antoine J, Max V. Image registration by maximization of combined mutual information and gradient information. *IEEE Trans on Medical Image*, 2000,19(8):809-814.
- 2 Loutas E, Nikou C, Pitas I. Information theory-based analysis of partial and total occlusion in object tracking. *Proc. of the 2002 Int Conf on Image Processing*, Rochester, NY, 2002.
- 3 孙淑一,吴勇,吴建民.一种基于边缘特征的图像配准方法. *计算机工程与应用*,2008,44(7):94-96.
- 4 Le Moigne J. First evaluation of automatic image registration methods. *Proc. Int. Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS'98*, 1998,315-317.
- 5 Jacobs D. W. Robust and efficient detection of salient convex groups. *IEEE Trans. on PAMI*, 1996,8(1):23-37.
- 6 王兵团.平面曲线离散电机拐点的快速查找算法. *北方交通大学学报*,25(6):85-87.
- 7 Copper J, Svetha, Kitchen L. Early jump-out corner detectors. *IEEE Trans. on PAMI*, 2009,15:823-828.
- 8 Josien PW, Pluim JB, Maintz A. Mutual information based registration of medical images. *A Survey IEEE Trans. on Medical Imaging*, 2008,21(4):72.
- 9 Maes F, Collignon A, Vandermeulen D, Marchal G, Suetens P. Multimodality image registration by maximization of mutual information. *IEEE Trans. on Medical Imaging*, 2007,16(2):187-198.
- 10 Viola PA, Wells III WM. Alignment by maximization of mutual information. *International Journal of Computer Vision*, 2008,24(2):137-154
- 11 彭景林,章兢,李树涛.基于改进PV插值和混合优化算法的医学图像配准. *电子学报*,2006,34(5):962-965.
- 12 杨烜,裴继红,谢维信.图像插值方法对互信息局部极值的影响分析. *电子与信息学报*,2009,28(10):1782-1782.
- 13 翟海亭,吴晓娟,彭彰.一种改进的基于互信息的三维医学图像配准的方法. *山东大学学报(工学版)*,2008,36(4):33-36.
- 14 陈庆芳,吴小俊.基于分块互信息的图像配准. *计算机工程与应用*,2011,36(4):33-36.
- 15 De Keulenaer BL, De Waele JJ, Powell B, et al. What is normal in abdominal pressure and how is it affected by positioning, body mass and positive end expiratory pressure. *Intensive Care Med*, 2009,35(6):969.

(上接第45页)

通过GIS系统这个平台,构建了一套车辆管理系统,对送货车辆实时监控,提高卷烟配送的安全性,并最大限度减少环节,优化流程,缩短运距,最终达到降低物流成本,提高配送效率和送货的安全性。

5 结语

嘉兴烟草专卖局(公司)在第一期工程中实现了基于GIS系统的基本车辆管理和各种路线管理。目前系统正在稳定运行之中。随着业务数据的不断积累,嘉兴烟草专卖局(公司)正在利用业务数据开展基于GIS的商业经济数据分析,实现客户分类、管理、激励、销售策略分析等功能。烟草行业是一种典型的零

售业,GIS系统在该领域的成功应用,也将有利于扩展到其他零售行业中。

参考文献

- 1 刘仁义.集成多种GIS平台和技术的浙江省水利综合管理信息系统研究. *浙江大学学报(理学版)*,2001,28(2):1-5.
- 2 柳锦宝,张子民,张永福,姚云军.组件式GIS开发技术与案例教程.北京:清华大学出版社,2010:60-65.
- 3 边馥蓉.GIS地理信息系统原理和方法.北京:测绘出版社,1996:2-105.
- 4 胡圣武.GIS质量评价与可靠性分析.北京:测绘出版社,2006:85-89.