

一种图像快速配准算法的研究

於时才, 吕艳琼

(兰州理工大学计算机与通信学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要:在基于小波分解和互信息测度的图像配准方法的基础上,提出一种改进的快速图像配准算法。首先,对图像进行小波分解,以分解后的图像的近似分量进行配准,利用互信息最大化作为相似性测度,并结合粒子群优化算法和鲍威尔算法为优化策略搜索最优配准参数。实验结果显示,此方法在得到较高的配准精度和鲁棒性的情况下,还大大减少了运算量,提高了配准的速度。

关键词:图像配准;互信息;小波分解;优化算法

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A

Study of Image Registration Fast Algorithm

YU Shi-cai, LÜ Yan-qiong

(School of Computer and Communication, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: By expatiating image registration method based on wavelet transformation and mutual information, an improved image registration algorithm was proposed. The low-frequency images of wavelet decomposition are used to register; the mutual information was used to be a scale of similarity to two registered images. A new optimization algorithm, which is a hybrid of particle swarm optimization and Powell algorithm, is used in this paper. The experiment shows that this algorithm reduces the amount of computation largely and improves the speed of image registration when the registration precisions have not notable change.

Key words: image registration; wavelet decomposition; mutual information; optimization algorithm

1 引言

图像配准是对取自不同空间、不同传感器或不同视觉的同一场景的两幅或多幅图像进行最佳匹配,使得同一目标在不同的图像上具有相同的坐标位置。图像配准的方法大致可以分为两类:基于像素的图像配准方法和基于特征的图像配准方法^[1]。基于特征的图像配准方法需要从图像中提取特征,再对其特征进行配准;而基于像素的配准方法易于实现,并且在没有大的畸变的情况下具有较好的配准性能和对各种场景的较好适应性。这类方法中最大互信息法^[2]是目前公认的一种较好的图像配准方法,其配准精度可以达到亚像素级,且对图像不完整和存在噪声的情况不敏感,可用于任何模式的图像配准。

但是该方法明显的缺点就是计算量太大、耗时多,不能很好地满足实时性的要求。针对这个瓶颈,本文提出了利用小波变换的方法缩小搜索范围,通过减小互信息的计算量提高图像配准的速度,结合PSO算法和Powell算法的优化策略搜索最优配准参数,这样在不影响配准精度情况下,大大提高了配准的速度。

2 图像的配准原理

2.1 图像配准的数学模型

对两幅图像进行配准,就是要定义一个相似性

基金项目:甘肃省自然科学基金项目(3ZS062 - B25 - 033)资助。

作者简介:於时才(1950 -),男,教授,主要研究方向为计算机网络及计算机图形学。E-mail:yusc@lut.cn

收稿日期:2008-10-07

测度,并寻找一个空间变换,经过该空间变换后,两幅图像的相似性测度达到最大^[3]。图像配准的目的就是找出配准变换的模型参数,所以配准问题就转化为求解最优参数的问题。假定待配准图像间满足刚性平面变换,即两幅图像间满足仿射变换关系。对于两幅待配准图像,图像 $A(x, y)$ 为参考图像,图像 $B(x, y)$ 为待配准图像,其仿射变换模型为:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix}$$

式中, $\theta, \Delta x$ 和 Δy 为两幅图像的配准参数。

2.2 图像的互信息

互信息技术是最近几年提出的进行多模态图像配准的一种有效方法。互信息 (mutual information, MI) 源于信息论,用于度量两个随机变量之间的相似性^[4]。它是一种自动的、基于像素灰度的方法,它不需要选择标志点或提取图像特征,且不需要假设图像中的灰度值存在某种线性关系。因此,该文采用最大化图像间的互信息作为配准准则。

假设有两幅图像,则图像 A 和图像 B 的互信息定义如下:

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

$$\text{其中,} \begin{cases} H(A) = \sum_a -P_A(a) \log P_A(a) \\ H(B) = \sum_b -P_B(b) \log P_B(b) \\ H(A, B) = \sum_{a,b} -P_{A,B}(a, b) \log P_{A,B}(a, b) \end{cases}$$

这里, $H(A)$ 和 $H(B)$ 分别是图像 A 和图像 B 的平均信息量;而 $H(A, B)$ 是它们的相关平均信息量。当互信息量 $I(A, B)$ 达到最大值时,两图像被认为是达到了最佳配准。

从互信息的计算公式可知,互信息的计算和图像的灰度级别密切相关。显然,减少灰度级可减少计算的循环次数,也就缩短了互信息的计算时间^[5]。所以,先将待配准图像进行灰度压缩,再在压缩图像上进行互信息计算和寻优可以提高配准速度。虽然,灰度级越少,互信息的计算时间就会越短,但图像信息也会随之减少,导致配准精度受到影响。因此,先对图像进行一个合适范围的灰度级压缩,以求在保证配准精度的前提下,最大限度地减少配准时间。

2.3 基于小波分解的图像配准

小波分析是20世纪80年代中期出现的一种信号分析工具,它同时具有良好的空间-频率局部化特性,可将信号分解成许多具有不同的分辨率、频率特性和方向特性的子带信号,被誉为“数学显微镜”之美称。

经过推理证明,原来两幅图像配准时的伸缩参数、旋转角度和它们分别经小波分解后的近似分量图像配准的伸缩参数、旋转角度分别相等,而两幅原图像配准时的平移量是它们分别分解后的两幅近似分量配准的平移量的两倍。所以,对两幅图像的神缩、旋转、平移等配准问题均可以转化为对其做小波分解后的两幅图像的近似分量的伸缩、旋转、平移配准问题^[6],这样处理的优点是可以节约求配准参数的运算量。理论上,若原图像大小为 $N \times N$,求配准参数时的运算量为 K ,则小波分解后的低频图像的大小为 $N/2 \times N/2$,求配准参数时的运算量为 $K/4$ 。

3 图像快速配准的算法实现

确定了两幅图像配准程度度量后,图像配准的问题就转化为优化问题。图像配准的优化主要有两个要求:全局寻优和快的优化速度。图像配准的优化过程易陷入局部最优,而且计算量大、速度慢。对于尺寸大的二维图像和三维图像,速度的降低更加明显,直接影响实际应用。所以,提高配准的可靠性和速度是重要问题。

两幅图像配准求参数的过程实际上就是求互信息最大值的过程,通常采用优化策略来实现这个过程。参数搜索的优化本文采用粒子群优化算法 (PSO) 和鲍威尔算法 (Powell) 相结合的策略。PSO 算法是近年来才推出的一种类似于遗传算法的新的优化方法,主要基于群体的演化算法,最初由 Kennedy 和 Eberhart 于 1995 年提出^[7]。算法的优势在于简单明了,易于实现且功能强大,它能在较短计算时间内产生高质量的解,比其他随机搜索方法具有更稳定的收敛性,算法参数少且收敛速度快。Powell 法是最为常用的参数优化搜索算法之一,该算法轮流对变换参数进行优化,在每一维内使用 Brent 算法迭代搜索和估计配准参数,从而使互信息不断增加。由于无需计算梯度,所以计算速度快,但 Powell 法容易受到局部极值的干扰^[8]。

因此可以考虑将两种优化算法结合起来,使它们优势互补,同时发挥 PSO 算法的全局寻优能力强和 Powell 法的求解速度快的优势。在最高级小波图像上采用 PSO 算法,虽然 PSO 算法的计算速度慢,但是因为只在最高级小波图像上使用这一算法,处理数据量只有原图的 $1/4^k$,因此对总的的时间消耗没有太大影响。经过第三级小波图像的配准,已经得到了粗略的两幅图像的关系,将这个结果作为下一级 Powell 法的初始搜索参数,这就克服了 Powell 法因为初始参数选用不当易陷入局部最优的缺点,

同时又能利用其快速搜索的优点。最后,随着被处理的小波图像分辨率的增加,配准参数越来越精确,直到原图像配准完成,则配准过程结束。

设 F 为参考图像, M 为待配准图像,则 F 和 M 的配准过程如下:

(1)对图像 $F(x,y)$ 和 $M(x,y)$ 分别用二维小波分解算法作 N 级分解, $LL_{Fj}(x,y)$ 和 $LL_{Mj}(x,y)$ 分别为 F 和 M 的第 j 层近似分量,其中 $j=0,1,\dots,N$, $LL_{F0}(x,y)$ 为图像 F , $LL_{M0}(x,y)$ 为图像 M 。本文对图像进行 3 级小波分解。

(2)将各级小波图像进行 32 级灰度压缩,使用互信息公式作为相似性测度由粗到精进行图像配准。

(3)配准最高层的近似分量。用 PSO 算法对第 3 级小波图像 $LL_{F3}(x,y)$ 和 $LL_{M3}(x,y)$ 进行配准,得到最低分辨率下空间变换参数向量 $X^N = (\theta_N, \Delta x_N, \Delta y_N)$,这就是第 N 层配准结果

(4)配准其余层的近似分量。用 Powell 算法,以 $X^i = (\theta_i, 2\Delta x_i, 2\Delta y_i)$ 为初始空间变换,对其余各层的近似分量依次进行图像配准,直到对原图像配准完成,得到最终的配准结果 $(\theta, \Delta x, \Delta y)$ 。

(5)输出配准结果

算法假设以刚体变换为变换模型, θ 为旋转角度, Δx 和 Δy 分别是 X 轴和 Y 轴方向的平移量,缩放因子 $s=1$ 。

4 实验结果与分析

为了分析本文算法的配准精度和速度,采用 VC++6.0 在硬件为 PIV2.7G、512M 内存的 PC 机上进行配准实验。通过与单纯基于小波分解的图像配准算法和基于互信息的图像配准算法比较,说明本算法的有效性。

规定坐标轴 X 方向向右为正方向,坐标轴 Y 方向向上为正方向,旋转方向顺时针为正方向。图 1(a)和图 1(b)裁于同一幅标准测试 Lena 图像,大小为 256×256 ,图 1(a)为参考图像,图 1(b)为待配准图像,它是图 1(a)旋转 5° 、向上平移 8、向右平移 5 得到的。在这里采用忽略比例系数的刚体变换为变换模型。



(a)参考图像

(b)待配准图像

图1 Lena 图像

采用不同的算法对这两幅图像进行配准,结果如表 1 所示。

表 1 不同配准方法的实验结果比较

算法	配准参数 ($\theta/\Delta x/\Delta y$)	配准精度 ($\theta/\Delta x/\Delta y$)	运行时间 /s
互信息法	(5.09/8.11/4.92)	(0.09/0.11/0.08)	125
小波法	(5.14/7.94/5.19)	(0.14/0.06/0.19)	69
本文方法	(5.12/7.88/5.21)	(0.12/0.12/0.21)	1.34

从表 1 的结果可看出,该方法是有效的。

5 结论

本文针对目前图像配准算法的配准速度慢、实时性差的问题,提出了一种快速的图像配准算法。利用小波分解缩小搜索范围,然后对图像的灰度级进行压缩,以此减少互信息的计算量,最后用混合优化算法求配准参数。在不影响配准的前提下,还大大的提高了配准的时间,这样更容易满足实际的应用要求。

参考文献:

- [1] Brown L G. A survey of image registration techniques [J]. ACM Computing Surveys, 1992, 24 (4): 325 - 376.
- [2] Pluim J, Maintz J, Viergever M A. Image registration by maximization mutual information and gradient information [J]. IEEE Trans on Medical Imaging, 2001, 19(8): 809 - 819.
- [3] 罗述谦, 吕维雪. 医学图像配准技术[J]. 国外医学生物医学工程, 1999, 22(1): 1 - 8.
- [4] Maes F, Collignon A, Vandermeulen D, et al. Multimodality image registration by maximization of mutual information [J]. IEEE Trans Med Image, 1997, 16: 187 - 198.
- [5] 高智勇, 林家瑞. 灰度级别对基于互信息医学图像配准方法的影响[J]. 北京生物医学工程, 2003, 22(1): 5 - 9.
- [6] 刘斌, 彭嘉雄. 图像配准的小波分解方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2003, 15(9): 1070 - 1073.
- [7] Mark P. An approach to multimodal biomedical image utilizing particle swarm optimization [J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2004, 8(3): 289 - 301.
- [8] 梅跃松, 杨树兴. 一种改进的基于互信息的自动图像配准算法[J]. 激光与红外, 2007, 37(5): 470 - 473.