

DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.2014.05.015

一种基于快速傅里叶变换的分区域图像配准方法

胡晓彤, 杨 威

(天津科技大学计算机科学与信息工程学院, 天津 300222)

摘要: 为提高图像配准的速度, 提出了一种基于快速傅里叶变换的分区域图像配准方法. 在图像中选取一块小区域代替整体区域, 根据对数-极坐标变换、傅里叶变换的特性确定图像间的比例和旋转变化, 利用傅里叶的相位相关技术确定图像间的平移关系, 从而求出图像的配准参数, 最后利用这个配准参数对待配准图像进行全局配准. 此方法改进了利用全图求取配准参数的过程, 利用小区域变换得到配准参数, 减少了运算量, 提高了运算速度.

关键词: 图像配准; 快速傅里叶变换; 分区域

中图分类号: TP751.1

文献标志码: A

文章编号: 1672-6510(2014)05-0073-05

An Image Registration Method Based on Subregional Fast Fourier Transformation

HU Xiaotong, YANG Wei

(College of Computer Science and Information Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: In order to improve the speed and precision of image registration, a method of image registration based on subregional fast Fourier transformation was proposed. A small area was selected in the image instead of the whole area, and then the ratio between the images and the rotation change was got based on the property of log-polar coordinate transformation and Fourier transformation, and the phase correlation technique (energy spectra) was used to determine the image translation. Using those registration parameters, the global registration can be done. The method can improve the processing speed because of using a small area instead the whole image.

Key words: image registration; fast Fourier transformation; subregional

图像配准技术是指将同一场景的两幅或多幅图像按照某种相似性度量变换到相同的坐标系下而达到最优匹配的一种技术. 这里待匹配的图像包括来自不同时间、不同光照的强度、不同的角度拍摄的图像. 正是由于这种拍摄的变换特性, 待配准的图像之间往往存在尺度变化、旋转变化和平移变化. 那么, 图像配准就是要在这些变换中寻找图像中的某物体在另一图像中的位置.

图像配准主要有基于灰度统计特性^[1]、基于图像特征、基于变换域 3 种方法. 基于灰度统计特性的配准方法包括模板匹配法^[2]、互相关法、灰度比的方差最小化法以及互信息(相关熵)最大化法等. 基于灰度

信息的图像配准方法虽然具有精度高、稳健性强、不需要预处理而能实现自动配准等特点, 但是由于在配准过程中需要使用图像的全部灰度信息, 因而配准速度较慢, 不适于对实时性要求较高的场合. 基于图像特征的配准方法较适于有明显特征的图像, 如桥梁、飞机跑道等, 其中基于特征点的图像配准方法一般是采用控制特征点的方法^[3], 这种方法需要人工选取控制点, 费时费力. 基于变换域的方法包括基于快速傅里叶变换方法等, 快速傅里叶变换对离散傅里叶变换进行了改进, 能够在一定程度上减少运算量, 提高速度. 如强赞霞等^[4]提出了一种基于傅里叶变换的遥感图像配准算法, 林卉等^[5]提出了利用傅里叶变换遥感

收稿日期: 2013-12-01; 修回日期: 2014-05-15

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2012BAF13B05)

作者简介: 胡晓彤(1971—), 男, 北京人, 副教授, huxt@tust.edu.cn.

图像的自动配准方法,李晓明等^[6]在傅里叶变换图像配准的基础上,对它的应用进行了拓展.但是,此类方法运算量较大,耗时较长.

针对运算量大、耗时较长的问题,本文提出了基于快速傅里叶变换的分区域图像配准方法,只要待配准的两幅图像中具有1个相同信息的小区域,就可以快速实现图像配准.

1 快速傅里叶变换图像配准的原理

1.1 快速傅里叶变换中平移参数的确定

若有两个图像 $f_1(x, y)$ 和 $f_2(x, y)$, 其中 $f_2(x, y)$ 是 $f_1(x, y)$ 平移 (t_x, t_y) 后的图像, 即

$$f_2(x, y) = f_1(x - t_x, y - t_y) \quad (1)$$

$f_1(x, y)$ 和 $f_2(x, y)$ 对应的快速傅里叶变换^[7]分别为 $F_1(u, v)$ 和 $F_2(u, v)$, $F_1(u, v)$ 和 $F_2(u, v)$ 之间的变换关系为

$$F_2(u, v) = e^{-j(ut_x + vt_y)} F_1(u, v) \quad (2)$$

则两图像在对应频域中的互功率谱^[8](能量谱)为

$$R_1 = \frac{F_1(u, v) F_2^*(u, v)}{|F_1(u, v)| |F_2^*(u, v)|} = e^{j(ut_x + vt_y)} \quad (3)$$

根据式(3)可知,两图像间的相位差等价于两图像的互功率谱的相位,因此这种方法也称为相位相关法.对式(3)进行傅里叶逆变换,在 (t_x, t_y) 处就会形成1个脉冲函数 $\delta(x - t_x, y - t_y)$,在其他位置为0.这个函数在偏移位置有明显的尖锐峰值,峰值所在位置就是所要求的平移量,根据这样的特性就可以确定平移量 t_x 和 t_y .假如两图像之间不满足一定的平移变换关系,那么式(3)傅里叶逆变换后的函数没有明显的峰值,并呈现出不规则分布.

1.2 极坐标变换

在二维平面内选取1个固定点作为极坐标系的极点,然后再确定极坐标系^[9]的极轴,即从 O 点引出一条射线作为极轴.取逆时针方向为角度的正方向,再选定一个长度单位.对于在二维平面内的任意一个点 M , OM 的长度可以用 r 表示,相对于 OX 转过的角度可以用 θ 表示.点 M 的极坐标就可以表示为 (r, θ) .

极坐标系和直角坐标系之间的对应关系为 $(x, y) \leftrightarrow r e^{i\theta}$, 其中

$$\begin{cases} r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} \\ \theta = \arctan\left(\frac{y - y_0}{x - x_0}\right) \end{cases} \quad (4)$$

1.3 对数极坐标变换

对数极坐标是在极坐标的基础上增加对数的运算.直角坐标系与对数极坐标之间的转换关系为 $(x, y) \leftrightarrow \rho e^{i\theta}$, 其中

$$\begin{cases} r = \sqrt{x^2 + y^2} \\ \rho = \log(\sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2}) \\ \theta = \arctan((y - y_c)/(x - x_c)) \end{cases} \quad (5)$$

1.4 极坐标变换和对数极坐标变换的区别

对于图像的旋转,在极坐标和对数极坐标系中,求旋转角度的公式均为

$$\theta = \arctan\left(\frac{y - y_0}{x - x_0}\right) \quad (6)$$

因此,在直角坐标系中的旋转,即为在极坐标系和对数极坐标系中在角度上的平移,平移的大小就是旋转的角度.

在极坐标系中,图像的缩放 k 倍的变换公式为

$$\begin{cases} r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} \\ r' = \sqrt{(kx - kx_0)^2 + (ky - ky_0)^2} \end{cases} \quad (7)$$

在对数极坐标系中,图像缩放 k 倍的变换公式为

$$r = \log_m \sqrt{(kx - kx_0)^2 + (ky - ky_0)^2} = \log_m k + \log_m \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} \quad (8)$$

从式(8)可以看出,直角坐标系中的缩放,转换到对数极坐标系中,对应的是距离轴上的平移.相对于极坐标系,对数极坐标系的这一特点可以较好地用于图像的匹配等.

2 基于快速傅里叶变换分区域图像配准算法

2.1 算法原理

图像配准的关键是得到配准参数,利用全局变换的配准方法可以得到比较精确的配准参数,但是速度较慢.因此提出了一种分区域图像配准的方法,即在图像中找到一种小区域代替全局来进行变换,最后得到接近全局变换的配准参数,利用配准参数对图像进行配准,但是这样小区域的寻找是一个难点.于是,将图像分成若干同样大小的区域,根据区域中特征点(即 $\text{sift}^{[10]}$ 算法中尺度函数的极值点)数量的多少将区域分成两类:特征点较多的区域、特征点较少的区域,再从区域中选择实验用的小区域.

具体的区域选择方法为:在特征点数量最多的区域内以匹配最好的特征点为中心画 55 像素 \times 55 像

素的矩形小区域,并在相应的参考图像和待配准图像中提取出来.然后利用快速傅里叶变换图像配准的算法,求取配准的参数.

根据实验可知,在特征点多的区域得出的配准参数更加接近于利用全图求取的配准参数,因此利用根据特征点多的区域得到的配准参数作为最终的配准参数.因为只是提取了图像的部分区域来进行配准运算,所以运算量会极大地减少,速度相应提高.

2.2 算法步骤

根据快速傅里叶变换原理进行图像匹配,首先是根据直角坐标系到对数极坐标的转换求出旋转角度和比例因子,按照求得的参数对欲配准图像变换后,利用互功率谱与反变换计算求出平移量,最后进行相应的变换就可得到配准图像.基于快速傅里叶变换图像配准的步骤如下:

(1)首先在参考图像和待配准图像中选取尽量小的但特征丰富的对应小区域 f_1 和 f_2 ,然后对图像 f_1 和 f_2 进行快速傅里叶变换,求出 F_1 、 F_2 .计算 F_1 和 F_2 的绝对值.

(2)应用高通滤波器来消除低频噪声.

(3)将滤波后的各图像由直角坐标系变换为对数极坐标形式.

(4)在对数极坐标下对图像 f_1 和 f_2 进行快速傅里叶变换得到 $F1p_1(\xi,\eta)$ 和 $F1p_2(\xi,\eta)$.

(5)用式(3)计算 $F1p_1(\xi,\eta)$ 和 $F1p_2(\xi,\eta)$ 在对数极坐标下的能量谱 R_1 .

(6)对求得的能量谱 R_1 进行傅里叶逆变换,得到 IR_1 .

(7)找到傅里叶逆变换 IR_1 峰值最大值所对应的坐标 $(\log(\rho_0), \theta_0)$,得到缩放因子和旋转因子.

(8)根据所求得的缩放因子和旋转因子对待配准图像 f_2 进行逆变换,求得新图像 f_3 .

(9)对图像 f_1 和 f_3 进行快速傅里叶变换,得到 F_1 和 F_3 .用式(3)计算 F_1 和 F_3 的能量谱 R_2 .对 R_2 进行傅里叶逆变换,得到 IR_2 .

(10)找到傅里叶逆变换 IR_2 峰值最大值所对应的坐标 (x_0, y_0) ,即配准的平移参数.根据平移参数可以求得配准图像.

3 实验

为了验证基于快速傅里叶变换分区域图像配准算法的有效性,采用 Matlab 语言编程实现本文算

法.在实验中,分别将参考图像(图1)旋转 5° 和 10° 作为待配准图像,利用本文方法求得全局配准参数,然后利用配准参数分别对待配准图像进行配准.



图1 参考图像

Fig. 1 Reference image

利用分区域图像配准的思想对待配准进行配准,首先要确定用于求取配准参数的特征点多小区域.方法是,在参考图像中找到特征点最多的区域,选择以匹配最好的特征点为中心的矩形小区域(图2中方框区域),并在相应的参考图像和待配准图像中提取出来.

为了对比配准效果,也提取了特征点少小区域进行实验.选择特征点少小区域的方法是,在参考图像中找到特征点最少的区域,选择以匹配最好的特征点为中心的矩形小区域(图3中的方框区域),并在相应的参考图像和待配准图像中提取出来.

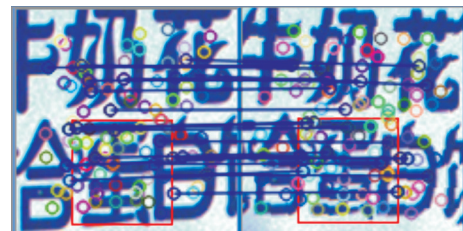


图2 特征点多区域匹配结果示意图

Fig. 2 Matching results of areas with more feature points

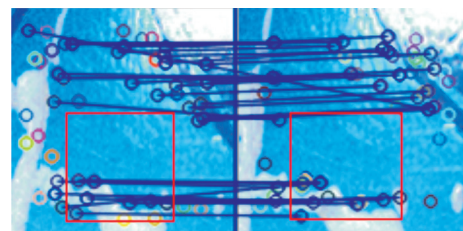


图3 特征点少区域匹配结果示意图

Fig. 3 Matching results of areas with fewer feature points

图 4 是在图 2 的特征点多区域中选取的较典型的特征小区域,其中特征 a、特征 b、特征 c 是按区域大小降序排列的.图 5 是在图 3 的特征点少区域中选取的较典型的特征小区域,其中特征 d、特征 e 是按区域大小降序排列的.



图 4 典型特征点多的小区域

Fig. 4 Areas of more typical feature points



图 5 典型特征点少的小区域

Fig. 5 Areas of fewer typical feature points

表 1 是图像旋转 5° 所得到的配准参数.从表中的数据可以看出:图像中特征点多的区域比特征点少的区域所得到的配准参数更接近于全局变换参数;其中,利用特征 b 进行配准的运行时间较短,且所得到的配准参数(角度)也很接近全局变换参数,所以在本实验中特征 b 是最佳的区域.

表 1 图像旋转 5° 所得到的配准参数

Tab. 1 Registration parameters of 5 degree rotation

图像区域	角度/(°)	时间/s
全图	5.063 9	2.121 478
特征“奶花蛋白”	5.234 2	0.286 443
特征“奶花”	5.484 1	0.238 918
特征“蛋白”	4.800 0	0.238 323
特征 a	4.883 1	0.216 297
特征 b	4.884 6	0.151 452
特征 c	3.897 6	0.130 128
特征 d	1.035 3	0.298 742
特征 e	1.035 3	0.219 963

表 2 是图像旋转 10° 所得到的配准参数.从实验数据中可以得出与表 1 相似的结论,即特征点多的区域比特征点少的区域所得到的配准参数更接近于全局变换参数,特征 b 仍然是最佳的小区域.

图 6 是利用分区域配准的思想得到的配准参数进行的图像配准效果,与利用全图求取全局变换参数的配准效果无明显差别.

表 2 图像旋转 10° 所得到的配准参数

Tab. 2 Registration parameters of 10 degree rotation

图像区域	角度/(°)	时间/s
全图	10.127 9	2.131 663
特征“奶花蛋白”	10.588 2	0.288 265
特征“奶花”	8.470 6	0.282 365
特征“蛋白”	9.600 0	0.265 516
特征 a	9.689 3	0.250 689
特征 b	9.734 8	0.151 698
特征 c	7.897 3	0.138 956
特征 d	1.089 0	0.299 431
特征 e	1.034 8	0.220 143



(a) 旋转 5°

(b) 旋转 10°

图 6 配准效果图

Fig. 6 Registration renderings

实验表明:基于特征点多的图像子区域所得到的配准参数接近于根据全图得到的参数,配准效果也与利用全图配准的效果接近,验证了分区域图像配准的可行性;同时,由于选择的是图像中的一小部分区域,因此配准时间也成比例地缩短了.在对精度要求不高的情况,可利用这种分区域的图像配准方法,能够极大提高配准的速度.

4 结 语

本文根据实际应用中图像配准速度的要求,提出了一种基于快速傅里叶变换的分区域图像配准方法.此方法充分利用了快速傅里叶变换对图像的旋转、尺度缩放、视角变化也能保持一定稳定性的特点.采用特征点多的区域所得到的配准参数接近于采用全图得到的配准参数,且运算速度较快.虽然本算法可以较好地处理存在旋转、较小缩放和平移差异的图像配准问题,但是在旋转、缩放、平移的过程中会带入一些不确定的误差,怎样降低这些误差对最后配准结果的影响,还需要进一步研究.

参考文献:

- [1] 朱志文,沈占锋,骆剑承.改进 SIFT 点特征的并行遥影像配准[J].遥感学报,2011,15(5):1024-1039.
- [2] 高军,李学伟,张建,等.基于模板匹配的图像配准算法[J].西安交通大学学报,2007,41(3):307-311.
- [3] 常学义,孙秋冬,任煜,等.基于 MATLAB 的图像配准方法[J].上海第二工业大学学报,2007,23(4):303-308.
- [4] 强赞霞,彭嘉雄,王洪群.基于傅里叶变换的遥感图像配准算法[J].红外与激光工程,2004,33(4):385-387.
- [5] 林卉,梁亮,杜培军,等.利用 Fourier-Mellin 变换的遥感图像自动配准[J].武汉大学学报:信息科学版,2012,37(6):649-652.
- [6] 李晓明,赵训坡,郑链.基于 Fourier-Mellin 变换的图像配准方法及应用拓展[J].计算机学报,2006,29(3):466-472.
- [7] 袁杰,路翠华,左传友,等.基于快速傅里叶变换的调频引信噪声干扰抑制[J].电子测量技术,2013(10):31-33.
- [8] 许俊泽,胡波,林青.对数极坐标变换域下互信息图像配准方法[J].信息与电子工程,2009,7(4):289-293.
- [9] Brown L G. A survey of image registration techniques[J]. ACM Computing Surveys (CSUR), 1992, 24(4): 325-376.
- [10] 陈志华,吴彩荣,赵建锋,等. SIFT 算法的介绍和应用[J].企业科技与发展,2011(19):50-51.

责任编辑:常涛

(上接第72页)

- [3] Fice J B, Cronin D S. Investigation of whiplash injuries in the upper cervical spine using a detailed neck model[J]. Journal of Biomechanics, 2012, 45(6): 1098-1102.
- [4] 刘宗亮.中国力学虚拟人颈椎建模与基本问题研究[D].上海:上海交通大学,2009.
- [5] 丁梅.后冲击下人体上身有限元模型的建立及其应用研究[D].天津:天津科技大学,2013.
- [6] Yoganandan N, Pintar F A, Cusick J F. Biomechanical analyses of whiplash injuries using an experimental model[J]. Accident Analysis & Prevention, 2002, 34(5): 663-671.
- [7] Brault J R, Siegmund G P, Wheeler J B. Cervical muscle response during whiplash: Evidence of a lengthening muscle contraction[J]. Clinical Biomechanics, 2000, 15(6): 426-435.
- [8] Kroell C K, Scheider D C, Nahum A M. Impact tolerance and response of the human thorax[C]//Proceedings of the 15th Stapp Car Crash Conference. Warrendale, United States: SAE International, 1971: 84-134.
- [9] Ono K, Inami S, Kaneoka K, et al. Relationship between localized spine deformation and cervical vertebral motions for low speed rear impacts using human volunteers[C]//Proceedings of the 1999 International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impacts. Sigtes, Spain: International Research Council on the Biokinetics of Impacts, 1999: 149-164.

责任编辑:常涛