

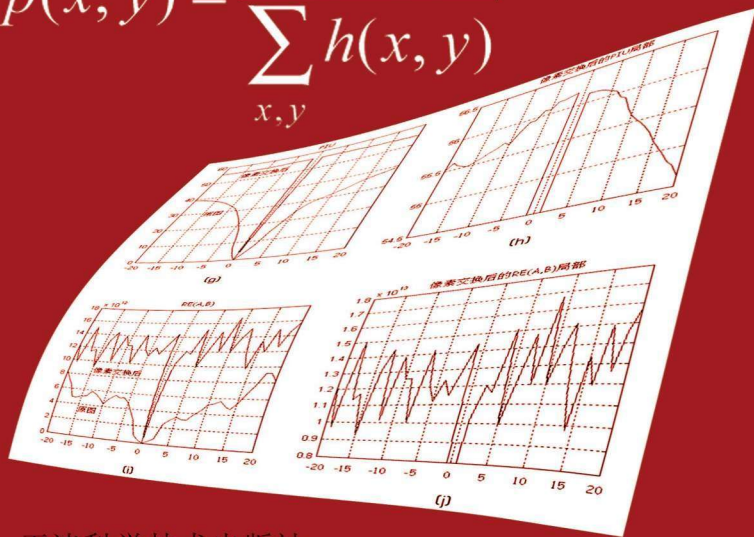
多模态图像配准

DUOMOTAI

TUXIANGPEIZHUN

上官晋太 编著

$$p(x, y) = \frac{h(x, y)}{\sum_{x, y} h(x, y)}$$



天津科学技术出版社

多模态图像配准

上官晋太 编著

天津科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

多模态图像配准 / 上官晋太编著. —天津:天津科学技术出版社,
2011.9

ISBN 978-7-5308-6620-7

I. ①多… II. ①上… III. ①数字图像处理—研究
IV. ①TN911.73

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第185644号

责任编辑:范朝辉

责任印制:王莹

天津科学技术出版社出版

出版人:蔡颢

天津市西康路35号 邮编 300051

电话:(022) 23332390(编辑室) 23332393(发行部)

网址:www.tjkjcs.com.cn

新华书店经销

北京彩云龙印刷有限公司印刷

开本 889×1194 1/32 印张 4.375 字数 128 000

2011年8月第1版第1次印刷

定价:16.80元

目 录

第一章 绪论

1.1 多模态图像信息融合技术	1
1.2 多模态图像的配准	7
1.2.1 图像配准的定义	7
1.2.2 图像配准的应用	9
1.3 本书的组织结构	11

第二章 图像配准的方法及过程

2.1 图像配准方法分类	13
2.1.1 图像特征	13
2.1.2 搜索空间	14
2.1.3 搜索策略	14
2.2 基于灰度信息的图像配准方法	15
2.3 变换域的图像配准方法	19
2.4 基于特征的图像配准方法	24
2.5 仿射变换与刚体变换	31
2.5.1 仿射变换	31
2.5.2 刚体变换	33
2.6 本章小结	33

第三章 几种基于灰度信息的配准方法

3.1 引言	35
--------	----

3.2 几种常见的多模态图像成像机理·····	35
3.2.1 多模态遥感图像成像机理·····	35
3.2.2 常见的多模态遥感图像·····	37
3.2.3 多模态医学图像成像机理·····	38
3.2.4 常见的多模态医学图像·····	43
3.3 几种基于灰度信息的配准方法·····	44
3.3.1 划分灰度一致性方法·····	45
3.3.2 基于Shannon熵的配准方法·····	47
3.3.3 相关比配准法·····	50
3.3.4 比方差配准法·····	52
3.4 图像配准测度的一致性分析·····	52
3.5 空间灰度相关性对配准测度的影响分析·····	62
3.6 本章小结·····	68

第四章 基于信息熵配准法的讨论

4.1 引言·····	71
4.2 几种配准测度的性能分析·····	71
4.3 互信息配准测度中空间信息的缺失·····	74
4.4 重叠面积和配准测度的关系分析·····	77
4.4.1 一元线性回归及相关性检验·····	78
4.4.2 配准实验·····	85
4.5 互信息配准的一种改进算法·····	88
4.5.1 方法·····	88
4.5.2 配准实验·····	90
4.6 本章小结·····	96

第五章 多模态图像配准中的插值方法

5.1 引言	97
5.2 最近邻插值	98
5.3 双线性插值	98
5.4 三次卷积插值算法	100
5.5 不同插值算法的误差分析	104
5.6 三次卷积插值中的边界条件问题讨论	107
5.7 部分体积插值	111
5.8 互信息配准中插值方法的影响分析和改进	111
5.8.1 线性插值法的局部极值	112
5.8.2 部分体积插值法的局部极值	113
5.8.3 改进方法一	120
5.8.4 改进方法二	123
5.8.5 改进方法的实验结果	125
5.9 本章小结	126
参考文献	128

第一章 绪 论

图像配准是图像处理和分析的关键步骤，是图像对比、图像融合、变化分析和目标识别的必要前提。本章首先论述了多模态图像配准的应用之一——多模态图像信息融合技术的发展和應用。然后又给出了图像配准的定义及其应用领域。为了让读者对本书的内容有个清楚的了解，在本章的最后部分说明了本书的研究内容及后续各章的内容安排。

1.1 多模态图像信息融合技术

多种成像模式产生的图像会表现出不同的分辨率、不同的灰度属性等差异，它们通常被称为多模态图像。近年来，多模态图像信息融合已成为图像理解和计算机视觉领域中一项重要而有用的新技术。图像融合是一项综合同一场景多源图像信息的技术。来自多个传感器的不同模态图像能够提供互补或冗余的信息。利用冗余信息可以改善信噪比并且可获得更为可靠的结果。同样，利用互补信息可使获得的融合图像包含更丰富的细节。由于利用了来自多个传感器的不同模态的图像，所以，融合后的图像对场景的描述比任何单一模态的图像都更加全面、更加精确。融合后的图像更符合人和机器的视觉特性，更加有利于诸如目标识别、特征提取等进一步的图像处理。在不利的环境条件下（如烟、雾、雨、低照明、运动等）或者当一个图像传感器不足以提供用于目标识别或场景描述的足够信息时，通过图像融合我们仍可获得

较满意的图像效果。

随着传感器技术和计算机计算能力的提高，多模态图像融合技术的应用领域也越来越广泛。

在军事领域，以多模态图像融合为核心内容的战场感知技术已成为现代战争中最具影响力的军事高新技术。20世纪90年代，美国海军在SSN691（孟菲斯）潜艇上安装了第一套图像融合样机可使操纵手在最佳位置上直接观察到各传感器的全部图像。1998年1月7日美国《防务系统月刊》电子版报道，美国国防部已授予BTG公司两项合同，其中一项就是美国空军的图像融合技术合同，此系统能给司令部一级的指挥机构和网络提供比较稳定的战场图像。

在遥感领域，大量遥感图像的融合能让我们更方便、更全面地认识环境和自然资源，其成果广泛应用于大地测绘^[1]、植被分类与农作物生长势态评估^[2]、天气预报、自然灾害检测等方面^[3]。1979年，Daily^[4]等报道了有关把雷达图像（SIR-A）和Landsat-MSS的复合图像应用于地质解释方面的消息，Laner^[5]等进行了Lansat-RBV和MSS数据的融合实验，Landsat-TM和SPOT-HRV数据的成功接收与深入应用，引发了人们对多遥感数据融合研究更普遍的关注。随着20世纪90年代多颗雷达卫星JERS-1、ERS-1、和Radarsat的发射升空，图像融合更成为目前遥感和相关学科领域的研究热点。1999年10月4日，由我国和巴西联合研制的“资源一号”卫星发射升空，卫星上安装了我国自行研制的CCD相机和红外多光谱扫描仪，这两种航天遥感器之间可进行图像融合，大大扩展

了卫星的遥感应用范围。归纳起来，多模态图像融合在遥感方面主要应用如下：

1. 测绘：制作图像专题图和地图更新等；

2. 地质：矿藏探测、地质结构分析、岩性识别与分类和地质测图等；

3. 农业：土地利用分类、农作物、森林分类等；

4. 气象：冰雪监测、洪水监测等。

在医学成像领域，利用图像融合技术，可以把多种成像模式下所形成的医学图像信息融合成一个新的影像模式，从而可以改善图像质量，增加病灶或感兴趣部位的可视性，有助于临床诊断、放射治疗计划的制订和评价。X线计算机断层（CT）、磁共振（MRI）和正电子发射断层（PET）图像的融合提高了计算机辅助诊断能力，2001年11月25-30日在美国芝加哥召开了RSNA北美放射学会年会，在会上GE公司医疗系统部展销了其产品Discovery LS，该产品是GE公司于2001年6月刚推出的最新PET/CT，是当时世界上最好的PET与最高档的多排螺旋CT的一个完美结合，具有单体PET不能比拟的优势，它可以完成能量衰减校正、正电子发射断层（PET）与形态解剖影像（CT）的同机图像融合，使检查时间成倍地降低。

当代科学技术的发展促成了多种医用成像系统的诞生，使人们可以利用不同的成像方式，从不同的角度观察人体内部同一个对象的结构和代谢情况。在过去的数十年间，医学图像技术取得了飞速发展，X线计算机断层

(computed tomography, CT)、超声 (ultrasonic sound, US)、磁共振 (magnetic resonance imaging, MRI)、功能磁共振 (function magnetic resonance imaging, fMRI)、数字减影 (digital subtraction angiography, DSA)、正电子发射断层 (positron emission tomography, PET)、单光子发射计算机断层 (single photon emission-CT, SPECT) 等多种先进的影像技术已经在临床中成功应用, 成为医学研究、检查 and 治疗的必备和常规手段。随着多种医学成像模式的出现和广泛应用, 对能够综合利用这些多模式的医学图像信息融合技术研究日益受到人们的关注。按照所提供的信息类型, 医学图像可以分为两大类: 结构性图像和功能性图像。不同模式的医学图像提供的信息既具有互补性也具有冗余性。对它们所提供的大量信息, 必须作为一个整体来解释和利用, 才能在临床诊断、治疗计划与疗效的评价等方面取得最佳效果。对于一个特定的临床应用来说, 有的利用一种图像就可以提供全部所需的诊断和治疗信息; 有的则需要拿不同时间获得的同一个成像模式的多幅图像或序列图像作对比分析; 对有些疾病, 还要利用多种模式图像提供的信息, 才能够进行正确的分析与诊断; 有些时候, 也经常需要比较病人和正常人 (如图谱) 之间的图像, 确定是否存在病理改变以做出诊断。使用多模态医学图像处理不仅可以更好地支持临床诊断和治疗活动。而且在某些情况下还是正确实施治疗的前提条件。这种多模态医学图像信息的综合利用称为医学图像信息融合。

医学图像信息融合作为信息融合技术的一个重要分支,

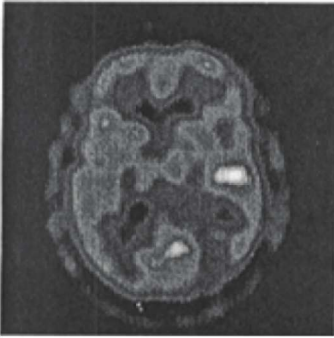
自20世纪90年代起就受到国际学术界的广泛重视。该技术是当代医学图像领域的前沿课题，主要研究内容包括：

1. 反映结构的图像间的融合；
2. 时间序列图像的融合；
3. 反映结构和反映功能的图像融合。

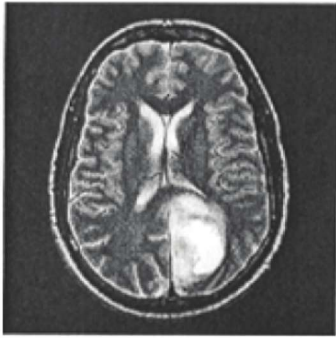
国外已经有相当多的研究人员开展这方面的研究工作，研究较多的是CT与MRI图像的融合，CT或MRI与PET、SPECT图像的融合以及MRI与脑电图（EEG）的融合，已经取得了许多可喜的成绩，发表了一些有价值的学术论文，有些技术也已经在临床中成功地应用。国际医学界认为这种医学图像融合技术对未来医学的发展，特别是对神经功能疾病的早期诊断、对神经功能和大脑活动、思维活动实际过程的研究具有深远的影响。如对脑部肿瘤进行立体定向放射治疗时，通常在CT图像上制订治疗计划，CT图像具有良好的分辨率，骨骼成像非常清晰，为病灶的定位提供了良好的参照，但是某些肿瘤和人脑的正常结构在CT图像上显示不清或根本没有显示，如果仅用CT图像，对病变的范围和程度就会估计不足，达不到预期的疗效。其他一些成像模式，如MRI，PET等图像虽然空间分辨率比不上CT图像，但是它们对软组织成像清晰，能够清晰显示肿瘤或者结构，有利于病灶范围的确定。它们的不足是缺乏刚性的骨组织作为定位参照，病灶的定位精度不高。将CT和MRI图像融合后，可以提供对肿瘤和关键结构的精确定位，可见有效地利用两者的综合信息，可以提高诊断治疗的效果。不同模态医学图像信息的综合利用

领域还有颅脑手术可视化、外科手术计划、模拟及术中引导以及治疗效果的回顾性评价研究等。

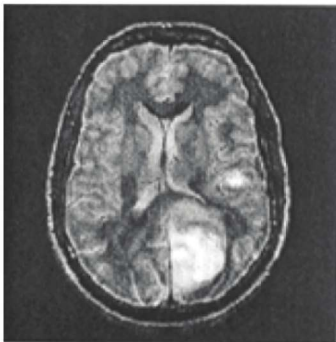
图1.1(a)、图1.1(b)分别为PET图像和MRI图像，图1.1(c)是融合的结果。从图中可以看到融合图像包含两幅图像中的特征信息，将PET功能成像中可见的病变部分清晰地显示到了MRI图像中，这样对病变位置的精确定位提供了良好的视觉依据。



(a) PET图像



(b) MRI图像



(c) 融合图像

图1.1 图像融合实例

在网络安全领域，多尺度图像融合技术可将任意的图像水印添加到载体图像中，以确保信息安全。

1.2 多模态图像的配准

1.2.1 图像配准的定义

由于各传感器通过的光路不同或成像模式不同等原因，图像间可能出现相对平移、旋转、比例缩放等，不能直接进行融合，而必须先进行图像配准，以建立像素之间的一一对应关系。图像配准就是对不同时间、不同视场、不同成像模式的两幅或多幅图像进行空间几何变换，使得各个图像在几何上能够匹配对应起来。图像配准的主要目的是去除或抑制待配准图像和参考图像之间的不一致，包括平移、旋转和形变。它是图像分析和处理的关键步骤，是图像融合的必要前提。配准技术主要应用在遥感图像处理、医学图像处理、制图学、计算机视觉、目标识别和军事目的等。

对于在不同时间、不同视场、不同成像模式等不同条件下获取的两幅图像进行配准处理，就是要定义一个配准测度函数，并寻找一个空间变换关系，使得经过该空间变换后，两幅图像间的相似性达到最大（或者差异性达到最小），即两幅图像得到空间几何上的一致。我们用 $I_1(g)$ 和 $I_2(g)$ 表示待配准的两幅图像， (g) 表示图像可能为2D（Dimension）或3D，当配准的是2D图像时， $I_1(g)=I_1(x,y)$ ； $I_2(g)=I_2(x,y)$ ；当配准的是3D图像时， $I_1(g)=I_1(x,y,z)$ ， $I_2(g)=I_2(x,y,z)$ 。不失一般性，不妨令 $I_1(g)$ 为参考图像， $I_2(g)$ 为待配准图像，也常称浮动图像。首先，需要选择合适的配准测度。

$$C(T) = C(I_1(\bullet), I_2(T_\Theta(\bullet))) \quad (1.1)$$

式中， C 是配准测度，也常常称为价格函数（Cost Function）或目标函数（Object Function）， T 为待配准图像与参考图像之间的空间变换。图像配准的过程可归结为寻求以下最佳空间变换：

$$\Theta^* = \arg \max C(T) \quad (1.2a)$$

$$\Theta^* = \arg \min C(T) \quad (1.2b)$$

当配准测度是相似性测度函数时，配准过程如（1.2a）所示， \max 表示求配准测度的全局最大值；当配准测度是差异性测度函数时，配准过程如（1.2b）所示。 \min 表示求全局最小值。表示变换模型的参数，参数可能的取值范围称为搜索空间，参数的个数称为变换模型的自由度。参数的个数与变换模型的特性有关，不同的变换模型，其自由度常常是不同的。对于3D刚体变换 $\Theta = (t_x, t_y, t_z, \theta_x, \theta_y, \theta_z)$ ， t_x 、 t_y 、 t_z 是待配准的两幅图像相对于x、y、z坐标轴三个方向的偏移量； θ_x 、 θ_y 、 θ_z ，是绕x、y、z坐标轴的相对旋转角度。参数的取值范围根据特定的应用和实际情况进行选取。 $\Theta^* = (t_x^*, t_y^*, t_z^*, \theta_x^*, \theta_y^*, \theta_z^*)$ 是目标函数达到最优时参数的估计值。对于2D刚体变换， $\Theta = (t_x, t_y, \theta)$ ，其自由度比3D刚体变换少，只有三个自由度。

由于空间变换包含多个参数，图像配准是一个多参数最优化问题。常用的空间变换形式主要有刚体变换（Rigid

Body Transformation)、仿射变换(Affine Transformation)、透视变换(Projective Transformation)和曲线变换(Curve Transformation)等几种。对于相似性测度函数,是通过搜索函数的全局最大值来得到图像间空间几何变换的参数。常见的相似性测度函数有相关系数、互相关函数、互信息函数等;对于差异性测度函数,是通过搜索函数的全局最小值来得到图像间空间几何变换的参数,常见的差异性测度函数有距离函数、总绝对差函数、总平方差函数等。

图像配准可以用下面示意图来表示:

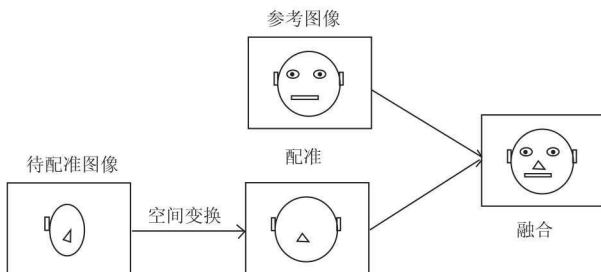


图1.2 图像配准示意图

图1.2 示意图是同一人从不同角度、不同位置拍摄的两张照片,由于拍摄条件不同,每张照片只反映了某些方面的特征。如果将这两张照片一起分析,就要将其中一张中的人像做移动和旋转,使它与另一幅对齐。保持不动的图像叫参考图像,做变换的图像称为待配准图像或浮动图像。

1.2.2 图像配准的应用

根据图像配准的目的、任务以及图像的采取方式,其应用领域可以概况为以下几个方面:

(1) 多视角分析

对不同视角、相同场景得到的图像进行分析，其目的是为了获得更大的2D视场或3D信息。

应用例子1：计算机视觉中，从视觉差异中构建三维深度和形状信息；

应用例子2：遥感图像领域，深度和高度信息的获取，GIS（Globe Information System）中数字高程图的绘制，多幅图像和多景图像的拼接。

(2) 多时像分析

对从相同场景、不同时间得到的图像进行配准处理，其目的是为了获得场景的变化信息或进行目标跟踪等。

应用例子1：医学图像处理方面，数字减影血管造影DSA, 注射造影剂前后的图像配准。监视身体的生长发育、监视某种疾病的康复治疗效果，监视肿瘤的生长变化、考察药物疗效等；

应用例子2：计算机视觉方面，安全监视系统中的自动变化检测、目标移动跟踪、产品质量控制等；

应用例子3：遥感图像方面，场景监视、资源利用、地表变化、灾害监测、农作物长势、城市建设等。

(3) 多模态分析

对从不同种类成像传感器得到的同一场景或物体的多幅图像进行分析，这些不同成像模式得到的图像，称为多模态图像。配准的目的是为了把多源图像信息综合起来，获得更全面、更详细的场景表达。

应用例子1：医学图像领域，多模态图像CT、MRI、PET、SPECT、US等结构信息和功能信息的融合综合诊断等；低分辨率图像与高分辨率图像进行配准，以改进在诊断和治疗时定位的精度；

应用例子2：遥感图像领域，不同特性成像传感器的信息融合，有利于获得更加全面的目标信息，如红外、微波图像、雷达图像、可见光波段的图像的分析综合等；场景分类，如建筑物、道路、车辆、农作物和其他植被的分类等。

(4) 图像到模板

对当前图像与模板图像或标准图库进行分析比较，其目的是为了将图像和标准模型进行比较、定位等。

应用例子1：医学方面，将病人的图像与标准的数字解剖图库(如虚拟人数据库)进行对比，对样本图像分类等；

应用例子2：计算机视觉方面，实时图像和目标模板的匹配，自动质量检查；

应用例子3：遥感方面，将航空或者卫星数据与地图或GIS配准，进行目标定位或目标识别。

1.3 本书的组织结构

本书后续各章的内容安排如下：

第二章 主要介绍图像配准的方法及过程。按照图像配准的基本步骤对现有的图像配准技术进行了总结和分类。这一章主要是从总体上对配准方法进行考察，因此不专注于各种方法实现的具体细节，也不对各种方法的配准结果进行详细的分析比较。