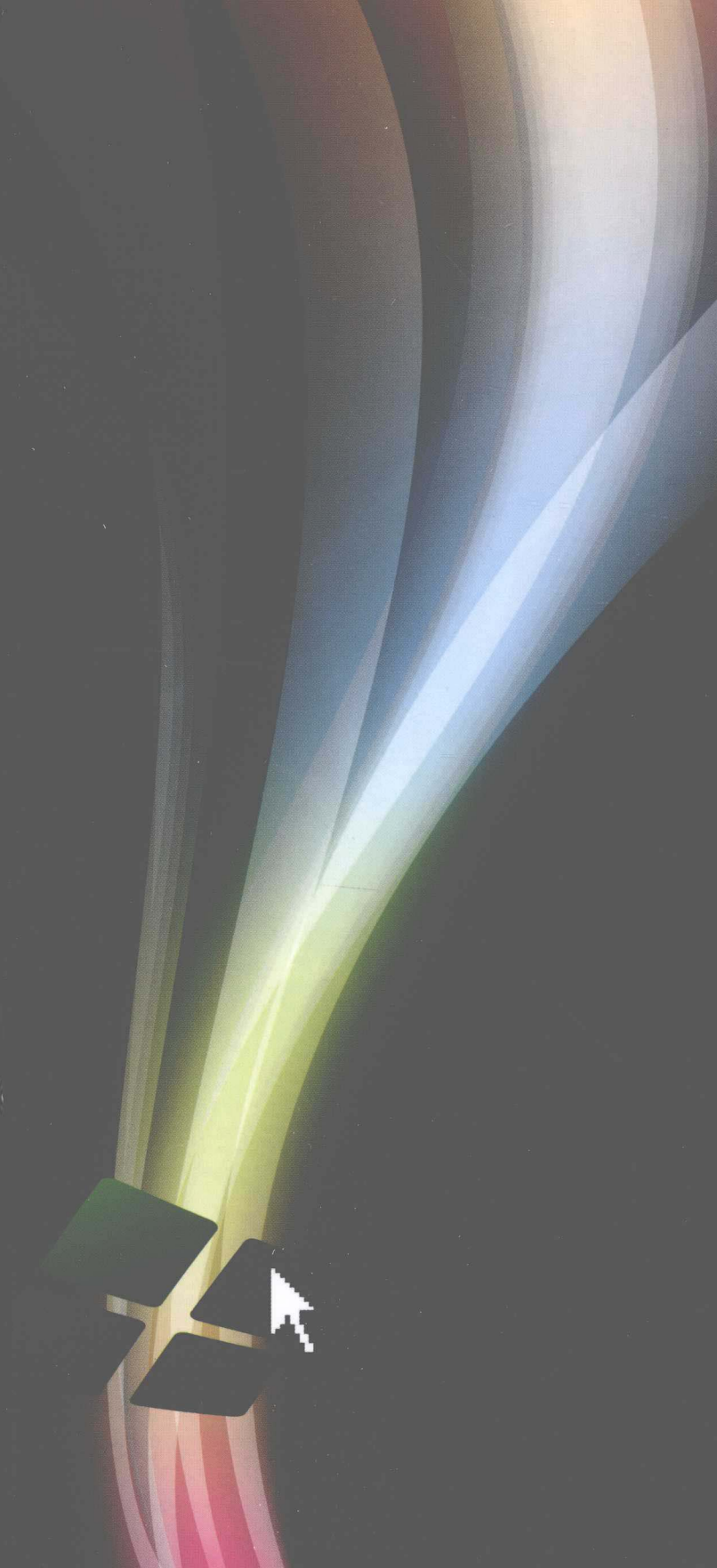


多源图像处理技术

蒋少华
著

湖南师范大学出版社



本专著获得“湖南师范大学青年
优秀人才培养计划”(ET120606)
和“博士科研启动基金”支持

蒋少华 著

多源图像处理技术

湖南师范大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

多源图像处理技术 / 蒋少华著. —长沙: 湖南师范大学出版社, 2012. 7
ISBN 978 - 7 - 5648 - 0884 - 6

I. ①多… II. ①蒋… III. ①图像处理 IV. ①TP391. 41
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 208511 号

多源图像处理技术

蒋少华 著

◇责任编辑: 朱建国 廖小刚

◇责任校对: 黄 晴

◇出版发行: 湖南师范大学出版社

地址/长沙市岳麓山 邮编/410081

电话/0731. 88853867 88872751 传真/0731. 88872636

网址/http: //press. hunnu. edu. cn

◇经销: 湖南省新华书店

◇印刷: 长沙利君漾印刷厂

◇开本: 710 mm × 1000 mm 1/16

◇印张: 9

◇字数: 150 千字

◇版次: 2012 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

◇书号: ISBN 978 - 7 - 5648 - 0884 - 6

◇定价: 20.00 元

摘 要

多源图像处理是目前的一个研究重点和热点,借助多源影像中包含的信息优势和互补性信息,可以生成新的更完整和更真实准确的信息,从而得到对场景中目标的更客观、更本质的认识,减少或抑制污损、残缺、伪装的目标中包含的不完全、不确定甚至错误的信息。

因此,多源图像处理目前已得到各国科研工作者的广泛关注,并已取得不少成果。但目前多源图像处理的各个环节仍然存在很多问题,技术依然不够成熟,而且随着处理数据量的增加,军事伪装技术的发展以及更高更广泛的处理需求的提出,很有必要针对新的需求展开新的研究。在某基金项目的支持下,围绕多源图像处理技术展开了一系列研究工作,主要包括:

1. 基于特征点几何特征的多源图像配准算法

提出了基于特征点几何特征的多源图像配准算法,并就其中配准点的选取、特征向量的生成、特征配准的实现等进行了详细介绍。此外还针对配准加速和适用性方面作了讨论。

2. 图像特征显著度定义和建模

提出了图像特征显著度的概念,用来刻画和度量图像特征在图像处理过程中,对处理结果影响的大小。并以特征点的几何特征显著度为例,通过理论推导完成对图像特征点的特征显著度的定义和建模,给出了完整的建模过程和图像特征点几何特征显著度的计算公式。

3. 融合图像质量评价指标体系及融合算法评价讨论

基于现有融合图像质量评价指标体系研究的现状,精选了若干个评价指标组成三维度的融合图像质量评价指标体系,包括客观可用维、融合支持维和

主观质量评价维。这三个维度从不同的角度刻画了融合结果图像的质量,这些评价指标相互关联构成一个完整的指标体系,可以全面地对融合图像的质量进行评价。然后简要讨论了图像融合算法的评价指标体系的构建。

4. 多源图像融合的理论模型和自优化融合框架研究

鉴于多源图像融合的情况复杂性,提出了一种自优化多源图像融合框架。该框架通过引入反馈回路,可以实现多源图像融合过程的自动化和融合状态的自优化,即自动选择合适的多源图像融合算法,自动对融合规则进行调整和修正,自动调整融合参数,使融合效果达到最优的状态。

5. 残缺图像特征提取及目标识别技术研究

基于相关研究现状,提出了基于拐点的图像特征提取技术和支持从局部到整体的图像目标识别技术。并重点对拐点的确定,拐点特征的提取,拐点特征匹配的距离计算,识别目标的局部吻合度和全局吻合度计算作了详细介绍。

目 录

1	绪论	(1)
1.1	研究背景	(1)
1.2	研究内容	(3)
1.3	本书结构	(5)
2	基于几何特征的多源图像配准算法	(7)
2.1	多源图像配准基本概念和技术组成	(7)
2.2	图像配准算法研究现状	(11)
2.3	基于特征点几何特征的多源图像配准算法	(17)
2.4	算法的加速与适应性考虑	(31)
2.5	小结	(35)
3	图像特征显著度定义和建模	(36)
3.1	特征显著度研究现状	(36)
3.2	图像特征质量评价准则	(39)
3.3	图像特征显著度	(41)
3.4	点的几何特征显著度定义	(44)
3.5	角点特征的组合显著度	(51)
3.6	特征显著度的计算实例	(53)

3.7	完善性讨论	(55)
3.8	小结	(59)
4	融合图像质量评价指标体系	(60)
4.1	融合图像质量评价指标研究现状	(60)
4.2	三维度融合图像质量评价指标体系	(71)
4.3	小结	(82)
5	支持参数调优的多源图像融合框架	(83)
5.1	多源图像融合研究现状	(83)
5.2	带反馈回路的支持参数调优的图像融合框架	(89)
5.3	融合关联二义性消除	(92)
5.4	多源图像融合框架仿真实验及效果	(96)
5.5	小结	(98)
6	基于拐点的残缺目标识别技术研究	(100)
6.1	残缺目标识别技术研究现状	(100)
6.2	图像轮廓上的拐点的操作化定义和特征表示方法	(104)
6.3	几种拐点匹配阈值的选取策略	(108)
6.4	局部拐点匹配算法和从局部到整体的匹配算法	(112)
6.5	吻合度的计算	(114)
6.6	实验与讨论	(116)
6.7	小结	(119)
	参考文献	(120)
	后记	(133)

1

绪论

计算机图像理解是利用计算机解释图像,实现类似人眼视觉系统功能的技术。其在矿产资源探测、工业自动筛选矿石、气象云图分析、医学图像分析、生物细胞检测、心脏运动过程监测、病灶定位、食品检测、安全监控、印刷电路板分析、军事目标自动识别等多个领域都有着广泛的应用^[1-4]。因此,计算机图像理解已成为当前的研究热点。

军事目标识别是图像理解技术中的一个重要分支,目前在这个领域已经取得了不少成果。但随着军事伪装学(Military Camouflage)的发展,单纯使用一种传感器成像所得到的图像很难完成目标精确分类和识别,这时综合使用红外线、遥感、航拍、卫星图像等多源图像以提高目标识别的精度和信度也就得到了研究人员越来越多的关注,并逐渐成为目标识别研究中的一个新热点^[5-6]。

1.1 研究背景

为了解决单源影像在进行目标识别时易受伪装、遮挡、污损和残缺等影响的不足,基于多传感器的多源图像融合被寄予厚望,以获取尽可能多的目标特征,并运用特定的目标识别理论和方法进行目标识别。

图像融合是数据融合的一种重要形式^[7]。多源图像融合的定义可描述为^[8]:将不同类型传感器获取的图像数据经预处理后,采用一定的算法将所

获得的多幅图像中包含的优势信息或互补性信息有机地结合起来,以生成新的更完整或更真实准确的信息,从而得到对目标事物更客观、更本质的认识。这将极大地提高融合后图像的信息含量,并使其在特征提取、分类、目标识别以及目视效果等方面更为有效。

多源图像融合可以将各影像数据中所含的优势信息或互补性信息有机地结合起来,以产生新的影像数据;可以利用优势信息对错误信息去伪存真、对残缺信息进行补全,从而提取更完整、更全面的真实信息以反映事物更本质的特征,最大限度地表征研究的对象,减少或抑制被感知对象(模糊或残缺目标)可能存在的不完全性和不确定性。因此,人们在这方面展开了很多研究,但现有的研究大部分是针对多聚焦图像和多分辨率图像的融合,在多传感器成像的异源图像互补融合方面的研究相对较少,已有的成果在多传感器成像图像融合方面针对性不强。由于军事伪装学的发展以及单一传感器刻画能力的不足,因此很有必要进行多传感器图像融合研究。

图像融合应该兼顾两个方面^[9],一方面要尽可能把源图像中的优势信息和突出特征融合到结果中,但另一方面又要尽量消除数据冗余,去除不必要的无用信息。融合策略的选择,将直接影响上述两个方面。简单的融合策略,如取平均将会降低融合图像的对比度,尤其是异种传感器成像的异源图像融合。而金字塔分解融合是一种冗余分解,分解后的信息量会增加很多^[10],多分辨率小波融合带来了新的希望^[11],该算法保留和继承了金字塔分解的多尺度和多分辨率的优势,同时又具有非冗余性和方向性,但这些算法依然在不同程度上存在局限性,不能满足各种应用的需要,现有的研究还不能根据图像自身的特征,自动选择适用的融合方法。

一种相对较好的策略是综合多种融合算法的优势,根据具体应用的特点和追求的指标,对多种融合算法进行自动优选,同时对融合算法本身的参数进行优化和自动调整。为此需要展开对各种融合算法优劣的综合评价研究。算法的评价涉及很多方面,如融合算法的效率,即融合后的图像所含的信息量及信息的有效性;融合算法本身的性能指标,如算法本身的时间复杂度、空间复杂度和通用性等,这些将影响算法的可用性。可以基于这些算法的优劣评价

情况,选取合适的融合算法及融合策略。

图像融合的最终目的是理解和分析图像,比如目标识别^[12],相关研究已有不少,但鉴于项目的特点,主要侧重在有遮挡和残缺情况下的目标特征提取和利用这些特征进行目标识别,为此,需要探讨利用图像局部特征来进行目标整体识别,并提供可信度信息。

1.2 研究内容

在某部委预研课题的支持下,针对现有多源图像融合算法主要基于多聚焦图像和多分辨率图像的不足,从多源图像配准、自优化多源图像融合框架、图像特征显著度评价、多源图像融合效果评价及融合算法整体评价、残缺污损图像特征提取及其目标识别等几个方面展开研究,研究工作以图像处理中最常见、应用得最多的图像几何特征为基本研究对象,以理论探讨和基本算法研究为主。但研究成果为后续研究提供了新思路,稍加扩充完善,就可以用于工程实践。主要围绕基于几何特征的多源图像配准算法、图像显著度定义和建模、自优化多源图像融合框架、融合图像质量评价指标体系和残缺图像特征提取及目标识别等展开如下研究工作:

1. 基于几何特征的多源图像配准算法

简要回顾了 SIFT 图像配准算法的基本思路,并分析其在多源传感器图像配准中的不足,即由于多源传感器成像特性不同,造成多源图像在刻画同一地区或目标时,可能出现灰度分布不同,甚至灰度梯度相反的情况,以致传统的基于图像灰度分布或灰度梯度的图像配准算法不再适用。然后提出基于图像几何特征的图像配准算法,包括图像几何特征的提取、配准及加速和算法适应性方面的讨论。

2. 自优化的多源图像融合框架研究

回顾了多源图像融合的技术研究现状,并由于其复杂性,很难找到单一、固定的图像融合算法以适用所有情况,提出了一种可自动选择最合适的多源

图像融合算法的自优化的多源图像融合框架。该框架通过引入反馈回路,根据融合效果评价等对融合规则进行调整和修正,使整个融合系统自动达到最佳的工作状态。

3. 图像特征显著度定义和建模

为了给图像融合规则的选取提供决策依据,提出了图像特征显著度的概念。以图像特征点的几何显著度为例,通过理论推导完成图像特征点的特征显著度定义和数学建模,给出了完整的建模过程和图像特征点的几何特征显著度的计算公式,并以图像特征显著度指导图像融合规则的初选。

4. 融合图像质量评价指标体系及融合算法评价讨论

现有图像融合算法评价技术重在评价融合效果,而对融合算法本身的性能、可用性方面考虑不多。另外,融合效果的评价也侧重于最终图像的信息量,忽略了人的主观因素,这在某些情况下并不合理。图像灰度变化信息丰富并不表示其信息是有效和可理解的。如全部是黑白相间分布的噪声图像,其信息量丰富,但可用信息几乎没有。有效的方案包括综合主客观评价指标和融合算法的性能、可用性等指标,这样将可以更准确客观地评价图像融合算法的各方面表现,并基于图像融合算法评价结果对所选择的融合算法和融合规则进行优化和调整。

5. 残缺图像特征提取及其目标识别

现有的图像特征提取和目标识别技术主要是针对完整的、无残缺的图像进行的。在存在污损、遮挡和伪装的军事目标识别研究中,现有的图像目标识别技术由于无分层次、由局部到整体的识别能力而导致识别率低,识别准确性和精度都十分有限。因此根据图像的局部特征,以点的几何特征为例,提出支持从局部到整体的识别方案的图像特征提取和目标识别技术,并用实例演示其计算效果。

1.3 本书结构

本书共分为六章,各章的组织结构如下:

第一章为绪论。主要介绍课题的选题背景、研究内容、本书的主要创新点及组织情况。

第二章为基于几何特征的多源图像配准算法。主要介绍了多源图像配准的技术组成,涉及相关关键技术的研究现状和现有的主要配准算法;然后提出了基于特征点几何特征的多源图像配准算法,重点对算法的思路、特征点的确定、特征向量的生成、特征匹配等作了详细介绍;提出了一个加速算法以加速配准过程,并讨论了图像存在变形时的处理思路。

第三章为图像特征显著度定义和建模。主要回顾了特征显著度的研究现状;提出了图像特征质量的评价准则及图像特征显著度的定义;然后以特征点的几何特征为例,介绍了点的特征显著度的定义和数学建模过程;通过实例演示了图像特征显著度的计算;最后针对其他特征的特征显著度建模进行了讨论。

第四章是融合图像质量评价指标体系。主要回顾了现有的图像融合质量评价指标,对指标的定义、对融合图像的刻画能力、不足等进行了分析,然后在其中精选了若干指标组成三维度的融合图像质量评价指标体系,并讨论了融合算法评价指标体系的构造;此后,介绍了评价指标体系的计算,最后介绍了相关实验情况。

第五章为支持参数调优的多源图像融合框架。主要回顾了现有图像融合技术的研究现状;提出带反馈回路的自优化图像融合框架,该框架支持多种融合算法和融合策略,并可根据融合效果评价等反馈信息对融合参数自动调优,自动选择合适的融合策略及算法;讨论了融合关联二义性的消除;最后通过实验验证了上述研究成果。

第六章为基于拐点的残缺目标识别技术研究。内容包括对现有研究现状的回顾;拐点的定义及拐点特征向量的生成;拐点匹配距离的几种计算方法和几种阈值的确定方法;拐点匹配算法和吻合度的计算;最后通过残缺枪支图片实验验证了该残缺目标识别技术在识别残缺目标方面的能力。

2

基于几何特征的多源图像配准算法

由于不同的成像传感器可反映成像目标不同的物理特性,所以综合利用多种传感器成像的影像进行信息融合和分析已成为一种常见和重要的获取信息的方法。这些由不同传感器成像的图像在经过一系列的预处理后,还需要经过严格的配准,才能进行信息融合。正因为图像配准是使用多源图像的必须先决技术,所以图像配准技术已成为图像处理领域的研究重点和研究热点,并且在医学图像分析、模式识别、计算机视觉、遥感和军事等方面都取得了广泛的应用^[1-3]。

鉴于多源影像配准技术在众多领域的重要作用 and 广泛应用,国内外的研究者对其进行了广泛和深入的研究,针对不同类型的影像和数据提出了很多种配准方法。但这些方法大都是针对某些特定的应用而提出的,直接应用到本项目中还存在着很多困难。特别是图像或数据类别差异大(如光学与 SAR 图像)、波段差异大(如可见光与长波红外图像)等情况下的图像高精度、自动配准技术的实现,更存在较大的困难。

2.1 多源图像配准基本概念和技术组成

2.1.1 图像配准算法的基本概念

随着传感器技术的发展,各种不同传感器所成的影像反映了不同的物理

特性,综合利用多种传感器图像进行数据提取和分析已经成为一种重要的获取信息的手段。但由于各种传感器之间的成像方式和成像平台的不同,因此在利用多传感器图像进行数据提取和分析前,必须对多传感器图像进行几何上和灰度上的严格配准。而拍摄自不同时刻,或不同视角的同一场景的多幅图像在处理之前,也需要进行配准。这使得图像配准成为近年来发展迅速的图像处理技术之一^[13],它在遥感图像、医学图像、模式识别、计算机视觉、三维重构和军事等方面都得到了非常广泛的应用^[14-17]。

图像配准就是将拍摄条件(如时间、成像设备、天候、光照、拍摄角度等)不同的两幅或多幅图像,按照某种相似性度量,进行匹配、叠加,并经过适当变换,得到相同坐标系下像素层上的最佳匹配的过程^[18-19]。

如果将这两张图分别定义为 f_1 和 f_2 ,则 $f_1(x, y)$ 和 $f_2(x, y)$ 分别代表图像对应坐标点 (x, y) 处的灰度值,图像配准过程可以表示为:

$$f_2(x, y) = g_2(f_1(g_1(x', y'))) \quad (2-1)$$

其中: g_1 表示二维空间坐标变换,即 $(x, y) = g_1(x', y')$,

g_2 表示灰度变换。

需要进行图像配准的情况有很多,按照图像之间的差别情况不同大致可以分为五类:

第一类:由于获取图像的角度、聚焦和缩放不同,造成图像之间的错位,为了配准这些图像,可以采用空域的方法去除这些差别。如旋转、平移、比例缩放等。

第二类:由于获取图像的成像条件不同而造成的,如光照或者天气条件不同而造成的差别。这样的图像在亮度上有所区别,也有的会在空域中产生差别,例如透视变形等。

第三类:由于图像的成像传感器的成像特性不同,如红外传感器成像、可见光传感器成像与合成孔径雷达成像,其图像灰度分布可能存在明显不同,甚至灰度梯度变化相反。如图2-1所示是同一场景由不同成像传感器所成的影像,从图中可以看出,同一场景的多源图像中灰度分布明显不同。

第四类:图像的差别是由于目标的运动、生长或者其他景物的变化而引起的。

第五类:由于成像环境不同或成像条件限制导致的不一致,如脏污、遮挡或信息伪装等导致图像信息的残缺、图像中存在虚假或冗余信息的干扰,这类图像之间的差异主要是残缺、冗余和不一致。

目前针对异种传感器成像的多源图像配准研究以及针对存在遮挡、污损和伪装的图像配准研究还很少,相关研究成果更少,仍然有待后续的深入研究。



图 2-1 图像成像传感器的成像特性不同导致图像灰度分布不同

2.1.2 图像配准的技术组成

从技术实现来看,现有的图像配准技术主要组合了图像特征空间、特征搜索空间、特征相似性度量和特征搜索策略四点技术,本书用数学形式定义如下:

1. 图像特征空间

图像特征空间是指从图像中提取出来的用来完成图像匹配的特征信息^[4]。设图像为 $f(x, y)$,其特征提取方法表示为变换 $I(\cdot)$,则特征空间可 A 表示为:

$$A = I(f(x, y)) \quad (2-2)$$

2. 图像特征搜索空间

特征搜索空间指用来校准图像的各种变换的集合,即待配准的图像上的同名特征之间的变换关系^[4]。设原图像为 $f(x, y)$, 配准后的图像记为 $g(x, y)$, 从 f 到 g 的图像变换记为 $T: f \rightarrow g$, 则搜索空间为全体变换的集合。

$$S = \{T | T: f \rightarrow g\} \quad (2-3)$$

3. 特征相似性度量

相似性度量是判断待匹配特征与参考特征是否是同名特征的度量,也是对当前几何变换是否最佳的评价。用于表征配准测试中相关特性的吻合程度,相似性度量可以分为辐射度量和几何度量两类^[4]。

设原图像为 $f_1(x, y)$, 用来校准的图像为 $f_2(x, y)$, 在变换 T 下, 点 (x_0, y_0) 的原像 $f_1(x_0, y_0)$ 在变换 T 的作用下像为 $f_2(x'_0, y'_0)$, 则 (x_0, y_0, x'_0, y'_0) 这样的点对越多, 配准效果越好, 其相似性度量的取值越高。即:

$$D_s = \{ \#(x_0, y_0, x'_0, y'_0) | T: f_1(x_i, y_i) \rightarrow f_2(x'_i, y'_i) \} \quad (2-4)$$

其中“#”表示取集合的势。 D_s 取的势越大, 则配准的点对越多, 对应的相似性度取值就越大, 反之亦然。在存在畸变和局部变形的情况下, 同一个变换 T 无法使得多个点对映射成立, 这时候可以对变换 T 的参数作适当的纠正, 使得最后有尽可能多的点对在变换 T 的映射下, 可以达到原像和像的一一对应。

4. 特征搜索策略

特征搜索策略主要决定如何在特征搜索空间中搜索(即选择下一个变换进行配准测试), 以及如何进行测试并搜索出最优的变换^[4]。实际应用中, 通常并不能保证为每一个基元在另一幅影像中找到同名基元, 即使找到, 各同名基元之间的转换函数并不能保证绝对相同, 而是可能存在细微的偏差。因此图像配准的结果通常是求得整体相似性度量的一个极值。可以用数学形式定义为:

$$\frac{\partial D_s}{\partial T} \rightarrow 0 \quad (2-5)$$

或

$$T = \{T_0 | D_s(T_0) \geq D_s(T)\} \quad (2-6)$$

其中: D_s 和 T 的定义同前(2-3)、(2-4)。