

配准和变形的最佳质量传输

STEVEN HAKER

LEI ZHU AND ALLEN TANNENBAUM

SIGURD ANGENENT

摘要：图像配准是在可能在不同时间拍摄的两个或多个图像数据集之间建立一个共同的几何参考系的过程。本文提出了一种基于蒙格-坎托洛维奇理论计算弹性配准和翘曲映射的方法。这种质量传输方法有许多重要的特点。首先，它是无参数的。此外，它利用了两幅图像中所有的灰度数据，将两幅图像放在相同的基础上，并且是对称的：从图像 A 到图像 B 的最优映射是从图像 B 到图像 A 的最优映射的倒数。该方法不要求指定地标，并且所涉及的距离函数的最小化器是唯一的；没有其他的局部最小化器。最后，最佳输运自然考虑了由面积或体积变化导致的密度变化。虽然最优输运方法肯定不适用于所有的配准和翘曲问题，但这种质量保持特性使得蒙格-坎托洛维奇方法对一类有趣的翘曲问题非常有用，正如我们在本文中所展示的那样。我们寻找配准映射的方法是基于偏微分方程方法，在质量保持约束下最小化坎托洛维奇-瓦瑟斯坦或“地球移动者”的距离。我们展示了这种方法如何导致实际的算法，并用一些例子演示了我们的方法，包括那些来自医学领域的例子。我们还扩展了这种方法，以考虑到强度的变化，并表明它非常适合于图像变形等应用。

关键词：弹性配准，图像翘曲，最佳传输，质量保存，梯度流动

目录

1 引言	1
1.1 图像配准	1

1 引言

1.1 图像配准

图像配准和变形是关键挑战，必须解决的一些实际的成像问题。配准是在两个或多个图像数据集之间建立一个共同的几何参考系的过程。在医学成像的背景下，配准允许合并术前图像信息，以改善图像引导的手术和治疗。它还通过允许同时使用来自多个数据集的信息来帮助诊断，可能在不同的时间使用不同的模式和患者的位置。

注册过程分几个步骤进行。通常，建立了数据集之间的相似性度量，这样人们就可以在应用转换后量化一个图像与另一个图像的接近程度。这种度量可能包括像素强度值之间的相似性，以及预定义的图像特征的接近性，如植入的基准、解剖标志、表面轮廓和山脊线。接下来，找到使变换后的图像之间的相似性最大化的变换。通常，这种转换是作为一个优化问题的解，其中要考虑的转换被限制为一个预先确定的类。最后，一旦得到一个最优变换，它就被用来融合图像数据集。

配准有一个广泛的文献致力于它的许多方法，从统计到计算流体动力学到各种类型的扭曲方法。参见 Toga (1999) 最近关于这个主题的论文以及广泛的参考文献。我们在这里只回顾了一些更相关的问题。我们的方法是基于连续介质体和流体力学的翘曲策略，其中人们试图利用弹性材料的性质来确定变形。一个定义了（典型的二次）成本函数，惩罚变形模板和目标之间的不匹配（克里斯滕森等，1993,1996；米勒等；布罗尼尔森和格兰科，1996；蒂里昂，1995）。从这个意义上说，我们的方法是最接近这些作品的注册哲学的。事实上，L2 蒙格-坎托洛维奇的最优翘曲图可以看作是速度向量场，它使欧拉连续性（质量保持）方程下的标准能量积分最小化 (Benamou 和 Brenier, 2000)。具体说明见下文第 3.6 节。特别是在流体力学框架中，这意味着最优 Monge-Kantorovich 解是作为势流给出的。