生物医学图像处理与网格化

冷珏琳

摘要

随着有限元方法和医学成像技术的发展, 数值模拟方法被广泛应用于生物医学的各个领域, 例如等离子体模拟、心脏活动模拟、大脑感知模拟和分子动力学模拟等. 将二维的生物医学图像数据应用于数值模拟, 需要经过一系列的前处理过程, 其中包括从二维图像序列到三维图像的重建、图像分割、基于分割的网格生成以及网格优化等. 本论文的研究目标旨在解决上述问题, 具体研究内容分为以下三个部分.

本论文的第一项工作是关于图像插值方法的研究. 我们提出了一种新的基于配准的图像插值方法, 并将其应用于二维图像序列的三维重建. 该方法分为两步:图像配准和灰度插值. 首先, 利用多尺度的图像配准算法, 对给定的两幅图像建立映射关系, 使得在映射变换的作用下图像的特征得以匹配. 然后, 在映射变换的引导下沿配准方向进行灰度插值, 从而得到一系列连续变化的中间图像. 该方法具有如下优点: 第一, 采用了双映射的图像配准模型, 使能量泛函关于两幅图像是对称的. 第二, 多尺度下的特征配准使得图像的特征由粗到细进行匹配, 从而避免陷入局部极小. 第三, 为了使图像间的映射变换尽可能光滑, 我们引入了两个几何规整项来约束映射变换. 第四, 采用 $L2$ 梯度流方法求解配准模型, 并提出了一个时间步长的计算方法. 实验结果表明, 我们的插值方法是稳健、有效的, 插值效果明显优于现有的线性插值法和光流法. 我们的方法得到的插值图像不仅能体现图像间的连续过渡, 又具有清晰的边界轮廓.

本论文的第二项工作是研究光照不均匀图像的分割问题. 受光照条件和成像设备等因素的影响, 得到的真实图像经常存在灰度值不均匀的现象. 基于经典的 Mumford-Shah 模型, 我们提出了一个新的图像分割模型, 并对该模型提出了快速求解算法. 本项工作的创新之处有两点: 第一, 假设待分割的图像是由入射分量和反射分量的乘积组成的, 其中入射分量表示光滑变化的光照场, 反射分量反映分片常数的真实场景. 基于这种假设, 我们提出了光照不均匀的Mumford-Shah 模型 (IIMS). 第二, 由于 IIMS 模型的水平集形式关于水平集函数是非凸的, 采用梯度下降法只能得到局部极小解, 并且求解速度非常慢. 因此, 我们先将模型转化为水平集函数的凸优化问题, 然后采用快速有效的 Split Bregman 迭代算法进行求解. 实验结果表明, 我们的图像分割算法在准确性、稳定性和计算速度等方面都优于现有的 PCMS 方法和 RSF 方法. 将分割算法进一步应用于三维医学图像,同样取得了令人满意的结果.

本论文的第三项工作是研究多区域网格的优化问题. 本文分别对多区域四面体网格和多区域六面体网格提出了一个有效的网格优化算法. 该算法具有如下特点: 第一, 将多区域网格的结点分成了四类, 并且对不同类型的网格结点采用了不同的处理方法. 第二, 不仅考虑到体网格质量的优化, 而且对边界网格进行了光滑化和规则化. 在体网格优化方面, 我们提出了一个反映网格质量的能量泛函.通过调整网格结点的位置对能量泛函进行极小化, 可以使体网格单元的质量得到提高. 在边界网格优化方面, 曲线结点和曲面结点一方面沿切方向运动, 使网格结点在边界上尽可能均匀地分布; 另一方面, 在保特征的几何流的作用下沿法方向运动, 从而去除边界曲线和曲面上的凹凸不平. 此外, 对于多区域四面体网格,我们采用了拓扑变换对网格结点的连接关系进行优化. 实验结果表明, 我们的网格优化算法不仅有效地提高了体网格和边界网格的质量, 并且在磨光曲线曲面的同时保持了网格边界的形状特征.