

基于立方体网格的数据点云约简和体积计算方法

曾敬文^①, 朱照荣^①, 丁锐^②

(^①北京市测绘设计研究院, 北京 100038; ^②辽宁省征地事务局, 沈阳 110003)

【摘要】 基于 Marching Cubes 思想, 本文提出散乱空间数据点的约简方法, 该方法在保持空间数据点云表示精度的条件下, 实现空间数据点云的有效约简并剔除噪声; 基于立方体网格, 简化了等高线搜索的难度, 为体积计算提供了可靠的基础。该方法原理简单, 算法容易实现, 试验表明能够取得较为满意的效果。

【关键词】 数据约简; 等高线; 体积计算; Marching Cubes

【中图分类号】 TP391

【文献标识码】 A

【文章编号】 1009-2307(2008)06-0081-02

DOI: 10.3771/j.issn.1009-2307.2008.06.027

1 引言

随着硬件技术的不断发展, Lidar 等测量技术以其快速的响应能力不断地扩展了人们的测量手段, 与之相适应的数据处理方法成为新的研究内容。目前, 获取测量目标表面大量空间点云的手段相对灵活, 而点云一般具有以下特点: 数据点一般是杂乱的; 可能并不包含目标特征点; 局部区域点云的密度差异明显; 点云密度相对较高。如何实现空间数据的约简, 使得空间点云分布均匀; 剔除噪声点; 从而搜索等高线和计算被测目标的体积等内容均是面临亟待处理的问题。散乱数据点约简的主要方法有: 在点云分割的基础上进行三角剖分, 在局部空间中剔除噪声和约简数据^[4]; 对空间数据三角剖分, 然后基于边折叠的算法实现数据的约简^[5]; 基于角度和弦高的数据精简方法^[6]。尽管现有方法在数据处理中可以取得较为理想的效果, 但其在算法复杂、人工干预多、约简后数据分布不均匀等缺点。本文基于 Marching Cubes 算法思想, 提出新的数据约简方法, 原理简单, 算法容易实现, 不需要人工干预, 并且简化了构造网格的难度, 结果不但稳定可靠, 而且均匀分布的空间数据结果更符合人们视觉认识事物的规律。再基于立方体网格搜索等高线, 简化了体积计算的难度。

2 Marching Cubes 算法

Marching Cubes 是由 Lorensen 在 1987 年提出^[1], 主要用于从三维的医学影像中抽取固定等值面的三角网格。算法的思想是: 由影像中的相邻的四个像素以及上下影像中的对应像素组成一个立方体, 通过判断立方体顶点的值, 得到相对于等值面的位置, 共有 256 种情况, 通过旋转和对称变换, 可以简化为 15 种情况。若等值面与该立方体相交, 内插计算得到交点的坐标值, 并通过查询拓扑关系列表, 得到相应的三角形网格。该方法在医学影像的处理中, 得到了成功的应用, 并也广泛应用于三维空间数据点云的曲面重建中。

3 空间数据的约简

空间数据点约简的目的是按照一定的采样间隔均匀分

布空间点, 空间点采样间隔的确定与研究目的有关, 实际确定采样间隔时, 还应该考虑到点的测量误差。若不能确定采样间隔, 则可以根据所获取空间点之间的平均距离估计而得, 平均距离是对所有空间点的一定大小的邻域内点距离的平均值, 如公式(1)所示。

$$d = (\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^k d_{i,j}) / (n \cdot k) \quad (1)$$

其中: d 表示计算得到的平均采样间隔, n 为空间点数, k 为邻域点数, $d_{i,j}$ 为空间点 i 到其邻域点 j 的距离。根据实际空间点的平均采样间隔确定数据约简后的采样间隔是一种较为合理的方法。

基于 Marching Cubes 实现数据约简的原理如图 1 所示。首先搜索到包含所有空间点的最小外接立方体, 其中两个顶点坐标为: $(\min x, \min y, \min z)$, $(\max x, \max y, \max z)$; 根据确定的采样间隔将该立方体分为小立方体, 小立方体 (i, j, k) 的两个顶点坐标如公式(2)。

$$\begin{cases} \min x_i = \min x - \frac{d}{2} + id \\ \min y_j = \min y - \frac{d}{2} + jd \\ \min z_k = \min z - \frac{d}{2} + kd \end{cases} \quad \begin{cases} \max x_i = \min x + \frac{d}{2} + id \\ \max y_j = \min y + \frac{d}{2} + jd \\ \max z_k = \min z + \frac{d}{2} + kd \end{cases} \quad (2)$$

在各个小立方体中, 搜索是否存在空间点, 若存在惟一的空间点, 则保持不变; 若存在多个空间点, 这些点需要约简, 最简单的办法是任意保留其中一个点, 删除其余点, 或计算部分点的重心坐标, 或者点的某种加权平均值等方法。显然, 所有空间立方体处理完成后, 可以有效实现空间数据的约简, 并且可以保持空间数据的表示精度。

数据约简后, 根据空间数据所在立方体之间的拓扑关系进行噪声点的剔除。若某个空间点所在立方体的邻域(26 或 63 邻域)内没有空间点, 则认为是噪声点, 予以删除。如此循环, 直至所有噪声点全部剔除。基于类似的思想实现空间数据点的增补。

4 等高线的搜索

利用目标表面大量的散乱数据点计算其容积(体积)是许多行业的实际需求, 传统的根据断面计算体积的方法仍不失为是一种有效的手段, 其中的关键问题是要求稳定搜索到断面点, 并且要能够按正确的顺序排列。本文搜索等高线的方法同样基于 Cubes 方法, 在给定断面高程后, 确定包含空间点并且与该高程面相交的小立方体, 对于封闭的断面而言, 最理想的情况下, 每个小立方体的 8 邻域内存在 2 个含有数据点的立方体, 此时, 从任意一个立方体开始, 搜索其 8 邻域, 将搜索到的立方体标记, 直至搜索



作者简介: 曾敬文(1972-), 男, 工程师, 湖北天门人, 本科毕业于武汉测绘科技大学工程测量专业, 现主要从事工程测量及数字化测图等工作。
E-mail: zjw_bj@163.com

收稿日期: 2007-05-30

到第一个立方体为止,顺序连接所有的空间点,并依一定的函数模型投影到指定平面即可得到等高线;若每个小立方体的8邻域内存在多于2个立方体,从一个立方体开始,寻找其8邻域,计算与该立方体中的点距离最近的点,从而得到立方体的拓扑连接关系,顺次连接所有的空间点并进行投影。对于非封闭的断面,从第一个立体开始,直到搜索立方体的8邻域中不存在立方体为止;若断面上存在多条闭合或开曲线,采取与上述类似的方法,直至所有空间立方体全部遍历为止。

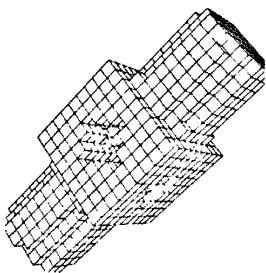


图1 Marching Cubes 示意图

上述的方法要求断面上的点不能有间断,即位于断面上相邻两点的立方体之间一定是8邻域连通的,而实际数据约简后,可能不会严格满足该条件。解决的方法之一就是进行数据的内插,添加空间点,缺点就是难以确定填补的范围并且容易造成错误的连接;其二就是在搜索等高线时适当增大搜索的范围。

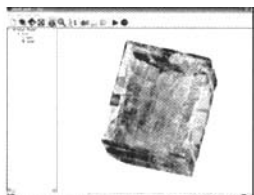


图2 原始的数据点云

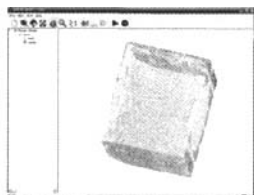


图3 约简后的数据点云

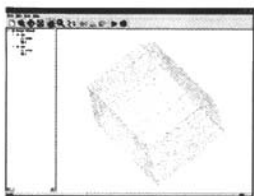


图4 约简后的数据点云

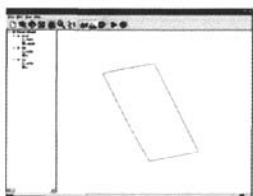


图5 某一条等高线

5 实验

利用摄影测量的手段获取某封闭物体内表面7万个空

间点,主要目的是计算任意高程面的容积,由于采集的数据点的数量过多,并且密度差异十分明显,图2所示,首先按照本文所述方法进行空间数据点的约简和噪声的剔除,图3的采样间隔为原始数据点云的平均距离,约简后点数约为3万;图4的采样间隔为原始数据点云的平均距离的两倍,约简后点数约为1万。计算原始数据的平均距离时,选择的近邻点数为13。显然,约简后数据的分布相对均匀,并且仍然能够良好地表示目标的形状。图5是截取的某个高程面的等高线。

根据计算得到的等高线,计算各个断面的面积,从而计算得到该封闭目标的容积。通过比较不同等高线间距所计算的结果(等高线间距1-5mm),以及通过设计数据计算得到的容积相比较,误差小于2%。

6 结束语

本文提出基于 Marching Cubes 的原理进行空间散乱数据点的约简和噪声剔除的思路,以及等高线的搜索方法,实验表明该方法能够在保持数据表示精度的条件下实现空间散乱数据的有效约简,等高线搜索原理简单明确,实现容易,稳定可靠。该方法属空间数据处理前期内容,具有一定的理论意义和实用价值。

参考文献

- [1] W E Lorensen, H E Cline. Marching cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm [J]. Computer Graphics, 1987, 21(4): 163-169.
- [2] 戴文俊, 庞明勇, 武港山, 等. 一种任意三维实体网格模型的体积特征提取算法 [J]. 计算机科学, 2006, 33(4): 198-201.
- [3] 何炳蔚. 逆向工程中密集数据采样以及网格化技术 [J]. 中国工程机械学报, 2006, 4(4): 474-482.
- [4] 阎树田, 惠相君, 程萍, 等. 反求工程中散乱点云的数据预处理技术 [J]. 兰州理工大学学报, 2006, 32(6): 44-46.
- [5] H Hoppe. Surface Reconstruction from Unorganized Points [D]. Washington University, 1994.
- [6] 洪军, 丁玉成, 曹亮, 等. 逆向工程中的测量数据精简技术研究 [J]. 西安交通大学学报, 2004, 38(7): 661-664.
- [7] 何建邦, 等. 我国地理信息标准化工作的回顾与思考 [J]. 测绘科学, 2006, 31(3).

The way of spatial points reduction and volume calculation based on marching cubes

Abstract: Based on the theory of Marching Cubes, a new method about spatial points reduction is provided in this paper. This method can availablely reduce the points and delete noise on the condition of preserving accuracy. The difficulty of searching contour line can be reduced greatly on basis of cubes. The principle is simple, and the algorithm can be carried out easily. The experiment shows that this method can gain satisfying results.

Key words: data reduction; contour line; volume calculation; Marching Cubes

ZENG Jing-wen^①, ZHU Zhao-rong^①, DING Ri^② (①Beijing Institute of Surveying and Mapping, Beijing 100038, China; ②Liaoning Province Land Acquisition Bureau, Shenyang 110003, China)

《中国测绘与人文社会》一书近日出版

由中国科学院资深院士陈述彭和中国工程院院士宁津生作序,由牛汝辰研究员撰写的《中国测绘与人文社会——测绘科技对社会文明的驱动》一书于2008年4月由中国社会出版社出版(该书24万字,定价29元,欢迎订购)。

通过我国测绘科技发展的人文社会环境分析,解释我国测绘科技与人文环境和社会背景的关系及相互间是如何影响和发展的。深入挖掘每一个主要阶段的社会背景、民族文化特点、人们的价值观念、科技政策、思维方式及人文成果对测绘科技和地图制图的影响。该书回顾自先秦至当代我国测绘科技发展的各主要阶段的测绘成果、测绘理论及其学术思想,进而分析各阶段的人文环境和社会背景,探讨我国的人文环境和社会背景对测绘科技发展所产生的影响。

(本刊讯)