

一种基于非均匀网格的点云数据缩减算法

程效军^{①③}, 李巧丽^②

(① 同济大学测量与国土信息工程系, 上海 200092; ② 福建省计量科学研究院, 福州 350003;

③ 现代工程测量国家测绘局重点实验室, 上海 200092)

摘要: 针对点云数据量大的特点, 提出了基于非均匀网格的点云数据缩减算法。采用球面投影的方法建立规则网格, 以网格内部点的法矢的标准差作为网格细分的依据, 用中值滤波的方法确定每个网格内的保留点, 通过实验验证了该算法的可行性, 并取得了良好的效果。

关键词: 点云缩减; 法矢; 球面投影; 中值滤波

doi: 10.3969/j.issn.1000-3177.2011.02.019

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3177(2011)114-102-04

An Algorithm of Point Cloud Data Reduction Based on Asymmetric Gridding

CHENG Xiaojun^{①③}, LI Qiaoli^②

(① Department of Surveying and Geomatics, Tongji University, Shanghai 200092;

② Fujian Metrology Institute, Fuzhou 350003;

③ Key Laboratory of Advanced Engineering Survey of SBSM, Shanghai 200092)

Abstract: This paper proposes an algorithm of data reduction based on asymmetric gridding in connection with the vast amount of point data. At first, a symmetric grid is built by spherical projection, and the standard deviation is used as base to determine whether the grid is divided or not. Then one point in every grid is kept down by median filtering. At last, this algorithm is validated and proved well by experiments.

Key words: point cloud data reduction; normal vector; spherical surface projection; median filtering

1 前言

三维激光扫描技术作为测绘领域一个新的研究热点, 有着广阔的应用前景。如量化实景对象、三维信息采集、逆向三维建模、空间数据反求、对象逆向设计、计量、测绘、监测等。在应用中三维激光扫描数据的处理是极为重要的。众所周知, 三维激光扫描技术可以快速、高效地获取大批量的点云数据, 但并不是所有的数据点都对模型重建有意义。首先, 原始点云数据中包含大量的噪声点, 必须先进行去噪处理; 其次, 去噪后的点云相对于实际需要仍然有

很大的冗余。因此, 在点云数据去噪之后, 有必要在保证一定精度的条件下缩减点云数据量。

针对有不规则曲面的物体表面, 为保留足够的边界信息, 保证模型重建的几何形状精度, 本文提出一种基于非均匀网格的点云数据缩减算法。其基本步骤如下。

①计算各点的法线矢量; ②将三维点云数据投影至一个确定的球面上, 并进行初步网格划分, 确定每个网格中的数据点; ③计算每个网格中数据点的法矢的标准偏差, 并以此作为网格细分准则; ④若标准偏差大于给定的限差, 则该网格进一步细分, 反复

收稿日期: 2009-05-31 修订日期: 2010-09-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(40971241)。

作者简介: 程效军(1964-), 男, 教授, 博导, 工学博士, 主要从事数字近景摄影测量与三维数字仿真方面的研究。

E mail: cxj@tongji.edu.cn

至网格的标准偏差均小于限差, 或使网格尺寸达到限制值; ⑤网格建立完成后, 用中值滤波确定每个网格的代表节点, 并删除其余点。

2 顶点上法矢的计算

由于三维激光扫描得到的是散乱点云数据, 则点的法矢需要根据这些散乱数据点来估算。通常以该顶点周围的若干个三角形法矢的加权平均来计算, 并以各三角形面积作为权因子估算法矢。

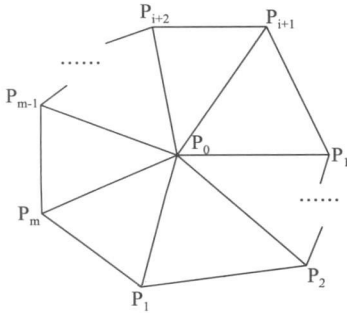


图 1 顶点及其邻接三角形

散乱点云数据三角网格化后, 对点 P_0 搜索所有与相邻接的三角形, 从而找出与之相连所有边的点。如图 1 所示, 与 P_0 点相邻接有 m 个三角形, 其中 P_0, P_i, P_{i+1} 构成第 i 个三角形, 则该三角形的法线矢量为 n_i , 其计算公式为:

$$n_i = \frac{(P_i - P_0) * (P_{i+1} - P_0)}{\|(P_i - P_0) * (P_{i+1} - P_0)\|}, i = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

由点 P_0, P_i, P_{i+1} 构成的三角形的面积计算公式为:

$$S_i = \frac{\|(P_i - P_0) * (P_{i+1} - P_0)\|}{2}, i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

根据公式 (1) 和公式 (2), 采用加权平均法, 得到 P_0 点处的点法线矢量为:

$$n_{P_0} = \frac{\sum_{i=1}^m S_i n_i}{\sum_{i=1}^m S_i} \quad (3)$$

3 球面格网的生成

设想一张弹性网罩在欲建模的实体上, 对于每一个三维点云数据点都可以转化为球面坐标 (α, β, ρ) 。其中, α 为水平转角, 且有 $\alpha \in [0, 2\pi]$; β 为竖直向转角, 且有 $\beta \in [-\pi/2, \pi/2]$; ρ 为球体半径, 并有 $\rho > 0$ 。下面详细叙述算法过程。

(1) 在点云数据中抽取部分点, 转换为球面坐标 (α, β, ρ) , 求出其平均值 $\bar{\rho}$ 作为要投影的球体的半径 ρ , 或者由用户根据实际需求确定要投影的球体的半径 ρ 。

(2) 根据用户设定的单位格网大小 (h, v) , 计算单位格网的角度步长 (h_a, v_a) , 即 $h_a = h/\bar{\rho}, v_a = v/\bar{\rho}$, 球面投影示意图如图 2 所示。

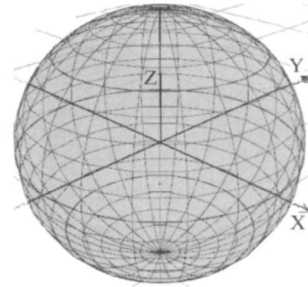


图 2 球面投影示意图

(3) 设置两个二维数组用于存储对应格网内点的 $\bar{\rho}$, 根据角度步长 h_a, v_a 确定数组大小 (V_n, H_n) ; 一个整型数组 $Count$ 用来统计落入对应格网内的点数, 另一个双精度型 R 用来保存坐标。

$H_n = f \text{loor}(2\pi/h_a)$, 最终水平向角度增长的步长为 $h = 2\pi/H_n$;

$V_n = f \text{loor}(\pi/v_a)$, 最终竖直向角度增长的步长为 $v = \pi/V_n$ 。

(4) 从点云数据文件中读取点, 判断该点属于哪个格网。假设点 P 坐标为 (x, y, z) , 该点对应的二维数组中的下标设为 (i, j) , 其中 $i \in [0, V_n - 1], j \in [0, H_n - 1]$, 转换为球面坐标 (α, β, ρ) 则有:

水平向角度 $\alpha = \arctan2(y/x)$, 其中 $\arctan2$ 为带象限的正切值 $(-\pi, \pi)$;

竖直向角度 $\beta = \arctan(z/\sqrt{x^2 + y^2})$;

对应球面坐标半径 $\rho = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$;

$i = f \text{loor}(\beta/v)$, 代表行即纬度; $j = f \text{loor}(\alpha/h)$, 代表列即经度。

根据 i, j 来求落入对应格网内的点的 ρ 总和, 保存在数组 R 中, $Count$ 记录点数。

同时, 通过 i, j, ρ 的最小值与最大值 $MinI, MaxI, MinJ, MaxJ, Min\rho, Max\rho$ 确定规则点云的边界, 这里称其为球面包围盒。

原始三维激光扫描数据坐标转化为球面坐标的示意图如图 3 所示。

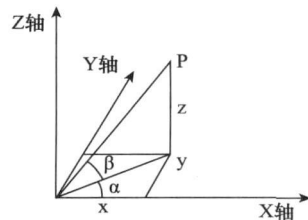


图 3 球面坐标系转换

4 非均匀格网建立方法及中值滤波

球面投影的规则格网建立后,即建立了初始格网;然后根据已经计算出的每个格网中数据点的法矢提取其方向信息,以方向的标准偏差作为格网细分准则,对初始格网进行改善。

(1) 假设格网中有 m 个点,其平均法矢方向为:

$$\bar{n} = \frac{\sum_{i=1}^m n_i}{m} / \left| \frac{\sum_{i=1}^m n_i}{m} \right| \quad (4)$$

(2) 则该格网中点的标准偏差为:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m |n_i - \bar{n}|^2}{m - 1}} \quad (5)$$

(3) 设定格网中数据点法矢方向的标准偏差的限差为 ϵ ,若 $\delta > \epsilon$,则将该格网进一步细分为 4 个子元。这个过程反复进行,直到所有格网中数据点法矢方向的标准偏差满足 $\delta \leq \epsilon$,或者格网尺寸达到设定的限值,格网最小尺寸根据扫描物体表面的复杂程度选定。细分过程示意图如图 4 所示:

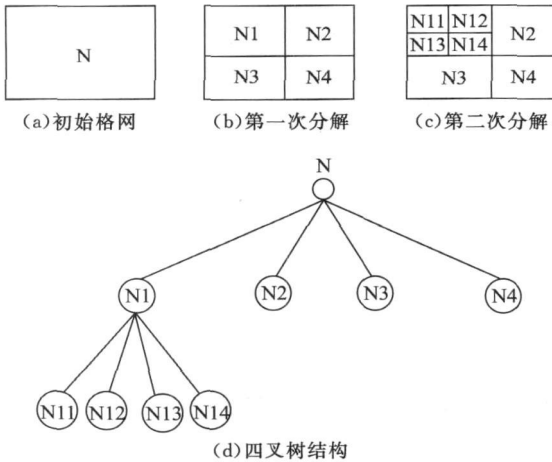


图 4 非均匀格网方法

这样,球面投影的非均匀格网建立完毕。该过程又称为格网细分的四叉数方法。然后针对每个格网中的点,按照其法矢方向的大小排序,如果某个点法矢的方向位于中间位置,则该点被选中保留,其余点则被删除。这样,当格网内有 n 个数据点,且 n 为奇数时,则第 $(n + 1) / 2$ 个点被选择;若 n 为偶数,则被选择的数据点为第 $n / 2$ 个或第 $(n + 2) / 2$ 个。若法矢位于中间位置的点的个数大于 1,则取距离格

网中心最近点保留。用中值滤波来选择保留点,可以很好地保留原始数据,且只选留其中的部分点,而不改变其位置。

5 实例

实验采用美国 Faro 公司的 Laser Scanner LS880 三维激光扫描仪,以贝多芬石膏头像为扫描对象,塑像高度约 20cm。对采集的塑像点云数据,采用本文所述的基于非均匀网格的点云数据缩减方法进行压缩。

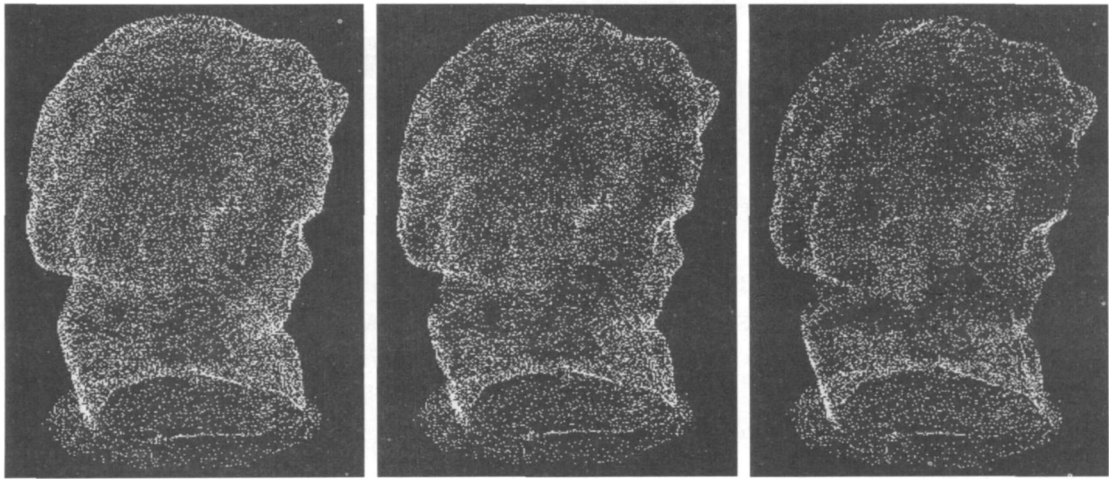
塑像压缩前的点云数据为 37,306 个点,如图 5 所示;根据设置不同的阈值作为网格细分的依据,压缩后的数据对应情况如表 1 所示,得到的效果图分别如图 6 中(a)、(b)、(c)图所示。从压缩后的数据来看,数据量有了较大程度地减少,压缩率分别达到了 62.6%、70.9%和 78.9%,数据量都减少了一半以上,而且根据需要还可以作进一步的压缩;从压缩后的图中可以看出,在曲率变化较大的部位保留了相对较多的点,而在相对平缓的部位则压缩掉了相对较多的点,这样,在数据压缩的同时达到了特征保留的目的。

表 1 数据压缩的阈值设置与压缩结果

阈值设置	0.05	0.10	0.15
点数	13,969	10,859	7,877
压缩率	62.6%	70.9%	78.9%
原始点数	37,306		



图 5 塑像压缩前的点云图



(a)压缩率为 62.6% 的点云图

(b)压缩率为 70.9% 的点云图

(c)压缩率为 78.9% 的点云图

图 6 塑像压缩后的点云图

6 结束语

针对点云数据量大的特点,本文提出了基于不规则格网的点云缩减算法。采用球面投影的方法先建立规则格网,然后依据格网内顶点法矢的标准差大小作为细分准则构建出不规则格网,这样压缩的结果就会在曲率变化大的位置保留较多的点,而在平缓的位置保留较少的点,从而在数据压缩的同时保留了点云数据的几何信息,使得采用压缩后的点进行模型重建具有很高的保真度,也即保留了点云

数据的真实几何信息。同时,采用球面投影的方法建立网格不仅适用于单站数据,对于已经拼接到一起的多站数据只要找到合适的物体中心,同样可以应用。本文实验中的塑像数据为一个封闭的整体,找到封闭体的中心,以此作为球心即可应用本方法进行数据缩减;而对于单站点云数据,则直接以坐标原点作为球心即可。本文所述的压缩算法特别适用于表面不规则的物体,而在现实世界中,表面不规则的物体占有很大比重,所以这种压缩方法会有很大的应用前景。

参考文献

- [1] 郑德华. 三维激光扫描数据处理的理论与方法[D]. 上海: 同济大学, 2005.
- [2] 官云兰. 地面三维激光扫描数据处理中的若干问题研究[D]. 上海: 同济大学, 2008.
- [3] 周晓云. 散乱数据几何造型技术研究[D]. 北京: 北京航空航天大学, 1993.
- [4] 朱心雄, 等. 自由曲线曲面造型技术[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 215- 230.
- [5] 顾孝烈, 鲍峰, 程效军. 测量学[M]. 上海: 同济大学出版社, 2006: 112.
- [6] 武汉测绘科技大学测量平差教研室. 测量平差基础[M]. 北京: 测绘出版社, 1996: 66.
- [7] 金涛, 董水光, 等. 逆向工程技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003: 128- 179.

(上接第 90 页)

参考文献

- [1] 田永飞. 区域数据中心重要业务系统的异地备份方法研究[J]. 华南金融电脑, 2009(5): 10- 12.
- [2] 冯钟葵, 张洪群, 王万玉, 等. 遥感卫星数据获取与处理关键技术概述[J]. 遥感信息, 2008(4): 91- 97.
- [3] 汪超亮. 遥感卫星数据编目存档系统的研制[J]. 地球信息科学, 2005, 7(2): 116- 119.
- [4] 杨鹏锐, 张延园, 牟虹燕. 数据容灾系统的原型设计及实现[J]. 微电子学与计算机, 2005, 25(5): 46- 50.
- [5] 张亚玲, 王尚平, 王育民, 等. 信息摘要算法 MDA-192[J]. 计算机工程与应用, 2002(24): 86- 93.
- [6] 郑国昌. 同步、异步数据容灾的性能分析[J]. 现代计算机, 2003(4): 85- 87.
- [7] 嵇智辉, 倪宏, 刘磊. 动态消息队列负载均衡策略的研究与应用[J]. 计算机工程, 2009, 35(8): 31- 37.
- [8] 张振权, 罗新民, 齐春. 数字签名算法 MD5 和 SHA-1 的比较及其 AVR 优化实现[J]. 网络安全技术与应用, 2005(7): 64- 67.