

基于真三维 TIN 的三维激光扫描数据压缩方法

刘 春^{1,2} 吴杭彬¹

(1 同济大学测量与国土信息工程系, 上海市四平路 1239 号, 200092)

(2 现代工程测量国家测绘局重点实验室, 上海市四平路 1239 号, 200092)

摘 要: 提出了基于真三维 TIN 的数据压缩思路, 根据最大夹角与阈值之间的关系决定点的取舍, 给出了相应的压缩算法, 对于变化平缓的表面有很好的压缩效果。并以同济大学的孔子头像为例, 给出了具体的实现方法, 同时对数据压缩结果的质量采用多种方法进行了评价, 以验证方法的可行性。

关键词: 激光扫描; 真三维 TIN; 数据压缩

中图法分类号: P225. 2; P234. 5

三维激光扫描测量系统也称为三维激光成图系统, 主要由三维激光扫描仪和系统软件组成, 其工作目标就是快速、方便、准确地获取近距离静态物体的三维表面模型。激光扫描仪(laser scanner, LS) 所获得的数据是由离散的距离点构成的, 点云(points cloud) 的每一个像素所包含的是一个距离值和一个角度值。距离图像本身蕴含了丰富的信息, 可以直接构建高精度的 DSM(digital surface model), 但由于它没有明显的形体信息和拓扑关系信息, 因此必须与其他传感器数据如 CCD 等结合使用。激光扫描的研究成果已经用于 GIS 数据的采集、重大灾害后的灾情调查与评价、森林覆盖或困难地区的地形测绘、DTM 获取、道路事故快速定位、海洋测深和环境监测等。

然而, 三维激光扫描获得的数据的数据量很大, 采用点云数据建立物体模型存在细节程度不同的问题。模型的多细节层次模型是指对于同一模型存在着由简到繁、由粗到精的集中表示^[1]。对于某些需要整体可视化表达的物体, 使用简化的、比较粗糙的模型可以大大减少存储容量, 提高计算速度。当一个模型存在着多种分辨率的表示时, 可以根据不同要求选用不同分辨率的模型。具体地说, 应根据模型在屏幕上覆盖像素的多少选择相应的层次。有关具体研究可见文献[2-5]。本文根据获得的激光扫描原始观测数据, 在给出点云空间三角建网的基础上, 考虑基于建立的三

角网对点云数据进行压缩。

1 基于真三维 TIN 的数据压缩

1.1 三角面法向量

在实际应用中, 由于原始点云数量巨大, 即使经过预处理的数据压缩, 剩下的点数量仍然很大, 因此, 仍然要对数据进行进一步的压缩, 以减少数据存储空间, 提高计算效率。

由于物体表面已经建立了表面三角网, 因此, 数据压缩不能过多地损失物体表面的基本特征。同时, 建立的三角网模型已经是物体表面模型的一个近似, 随着压缩过程的进行, 每删除一个点都会引起模型表达上的差异, 因此, 压缩过程中也必须以已经建好的三角网模型为约束, 使得删除点对模型精度的影响最小。

如图 1 所示, P 、 A 、 B 三点构成一个三角形, 定义 n_1 为三角行的法向量, 于是可以得到 \overrightarrow{PB} 向量和 \overrightarrow{PA} 向量:

$$\overrightarrow{PA} = (x_1 - x, y_1 - y, z_1 - z)$$

$$\overrightarrow{PB} = (x_2 - x, y_2 - y, z_2 - z)$$

则

$$n_1 \overrightarrow{PA} \times \overrightarrow{PB} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ x_1 - x & y_1 - y & z_1 - z \\ x_2 - x & y_2 - y & z_2 - z \end{vmatrix} =$$

$$(dx_1, dy_1, dz_1) \quad (1)$$

式中, i, j, k 为 X, Y, Z 方向的单位矢量。则有:

$$\begin{cases} dx_1 = (y_1 - y)(z_2 - z) - (y_2 - y)(z_1 - z) \\ dy_1 = -(x_1 - x)(z_2 - z) + (x_2 - x)(z_1 - z) \\ dz_1 = (x_1 - x)(y_2 - y) - (x_2 - x)(y_1 - y) \end{cases} \quad (2)$$

同理可以得到另外一个三角面的法向量 $k_2 = (dx_2, dy_2, dz_2)$ 。将 k_1 和 k_2 向量平移至同一顶点, 并作向量 $h = k_2 - k_1$ (如图 2 所示), 显然, 角 θ 即是两向量之间的夹角, 也就是两个三角面之间的夹角。则

$$h = (dx_2 - dx_1, dy_2 - dy_1, dz_2 - dz_1)$$

同时令

$$l_1 = \|n_1\|, l_2 = \|n_2\|, l = \|n\| \quad (3)$$

于是可以得到:

$$\theta = \arccos\left(\frac{l_1^2 + l_2^2 - l^2}{2l_1l_2}\right) \quad (4)$$

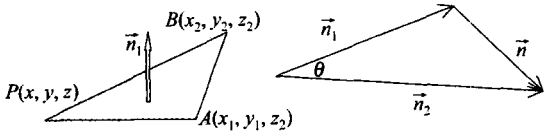


图 1 平面法向量示意图
Fig. 1 Graph of Plane Normal Vector

图 2 向量夹角示意图
Fig. 2 Graph of Angle Between Vectors

1.2 三角网数据压缩算法

显然, 平坦区域上的点构成的三角网包含的信息量最少, 同时这些三角形的法线向量也越趋近于平行, 也就是说, 法线向量的夹角越小。如果过点 i 的三角形有 n 个, 那么两两三角面之间的法线向量的夹角有 C_n^2 个, 求出这 C_n^2 个夹角的最大值, 并且当这个最大值小于设定的阈值时, 这个点就予以保留; 否则, 删除该点。利用三角网的这一性质, 可以对三角网进行进一步压缩, 以使损失的模型精度最少^[6]。

对于图 3 的 i 点, 一共存在 $C_5^3 = 10$ 个 θ 角, 求出其最大值。如果最大 θ 角小于设定的阈值 T , 说明包含这个点的所有三角形在设定的范围 T 内近似趋于一个平面, 该点可以被删除; 否则, 说明包含这个点的所有三角形至少有两个存在较大的差异, 该点不能被删除。对于阈值 T 的确定, 可以根据事先确定的压缩效果(压缩比), 或者根据最大 θ 的分布情况加以确定。

假设图 3 的 i 点可以被删除, 那么新的三角网将不再有 i 点, 也就是说, 要对数据重新进行三角网生成, 这样势必会降低效率。此外, 由于局部的三角网满足狄洛尼法则^[7], 因此, 可以直接对包

含该点的三角网内的其他点(A, B, C, D, E)重新生成三角网, 其结果如图 4 所示。

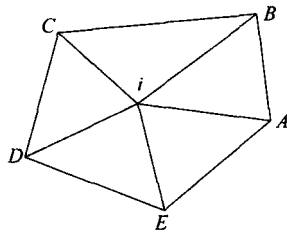


图 3 过 i 点的原三角网
Fig. 3 Triangulation of Original Data Across Point i

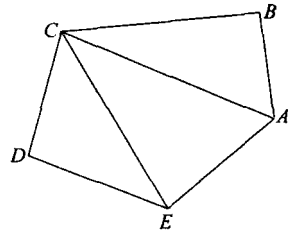


图 4 删除一点后重新生成的三角网
Fig. 4 Reconstructed Triangulation After Deleting a Point

2 三角网数据压缩实例

采用 MENSIGS200 激光扫描仪, 分三个视角对同济大学的孔子头像进行扫描。由于希望能够建立孔子像的三维模型, 因此采用了较高的采样密度, 采样间隔为 3 mm。数据配准并拼接以后, 获得头像扫描数据。

在初步数据预处理结果的基础上, 构建如图 5 所示的头像三角网表面模型, 图 6 则是孔子像头部数据的基于真三维 TIN 的压缩结果, 图 7 为局部区域阈值为 15° 时压缩的结果。

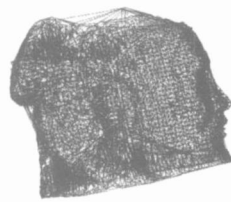


图 5 原始数据建网结果图
Fig. 5 Triangular Figure with Original Data

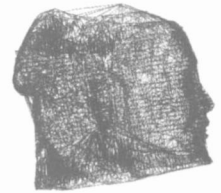
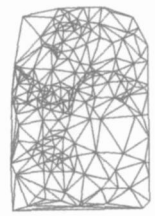
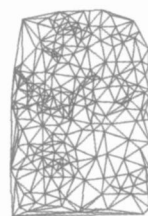


图 6 三角网压缩结果图
Fig. 6 Compress Result Based on Spatial Triangulation



(a) 原始数据构网结果 (b) 进行压缩后的构网结果

图 7 局部区域 15° 阈值局部压缩效果图

Fig. 7 Compressed Result in Local Area with Threshold of 15°

Fig. 7 Compressed Result in Local Area with Threshold of 15°

3 压缩方法评价

3.1 表面积评价

将压缩前后三角网的面积和进行计算并比较, 求出其变化情况, 从而判断压缩过程中是否从总体上改变了物体表面的特征。令第 i 号三角形

(顶点为 1、2、3) 的面积为 $S_{\Delta 123}$, 由于每个点坐标已知, 那么面积可以用如下的通用公式计算:

$$S_{\Delta 123} = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^3 y_i (x_{i+1} - x_{i-1}) \right| \quad (5)$$

表 1 是孔子像头部两套数据的不同阈值压缩结果的比较。

表 1 孔子像两套数据不同阈值时的压缩结果

Tab. 1 Different Compressed Result with Different Threshold for Kongzi Head Portrait

阈值	原有点数	三角形个数	压缩后点数	离散点压缩比率/%	压缩后表面积	面积差	面积变化比率/%
15°	4 013	7 878	3 615	9.9	7 326.561 3	- 0.635 3	0.009
	7 121	14 084	6 549	8.0	13 265.234 4	- 2.342 3	0.018
20°	4 013	7 878	3 422	14.7	7 325.354 6	- 1.842	0.025
	7 121	14 084	6 213	12.8	13 263.564 4	- 4.012 3	0.030

3.2 断(截)面评价

断面或者切面可以取任何平面与原有三角网的交点和交线, 一般取截面与三角网的交点进行比较。由于得到的点数据已经具有很强的视觉效果, 因此, 一般只需要对两套点进行投影比较就可以得到本次压缩的效果。

图 8 为孔子像头部数据以阈值 15° 的压缩例子, 并以 $Z=1.80$ m 作一截面。图 8 中, 十字丝表示压缩后不再包含压缩前的断面离散点, 细点表示压缩前后都包含的断面离散点。通过比较可以发现, 阈值如果取得合适, 压缩掉的点都在截面(截面)变化比较平缓的区域, 压缩前后, 断面(截面)变化并不大; 一旦阈值取得过大, 将导致断面(截面)发生较大变化。因此, 断面(截面)评价除了可以对压缩效果进行判断外, 还可以指导压缩比例的制定或阈值的选取。

通过断面比较可以得知, 只要确定合适的阈值, 基于三角网的压缩方法是有效的, 并且能很好地保证物体表面的特征。在压缩过程中, 点数越少, 压缩效率越高。这是因为原始数据点越多, 其表达的物体表面越详细, 保留了很多在细部快速变化的细节, 而同样的细节在数据点少的三角网中已经不存在。也就是说, 同样的区域, 数据点少

的三角网所表达的更为平缓, 因此压缩比率更高。

4 结 语

与传统技术手段相比, 三维激光扫描具有速度快、效益高、实时性强、精度高等特点, 但是其数据量大, 数据精细, 在存储和运算上都不方便。本文结果表明, 这种压缩方法能很好地保留原点云数据的几何特征。但本文在压缩过程中只考虑了表面法向之间的关系, 所以针对表面光滑的表面压缩是有效的, 而对于表面明显呈几何体的空间实体, 则需要考虑表面剖分, 针对不同的剖分表面, 考虑采用不同的阈值进行法向压缩, 这也是下一步所要研究的主要内容之一。此外, 仍需探讨点云数据压缩的可靠性和压缩结果质量的数值评价方法。

参 考 文 献

- [1] 唐泽圣. 三维数据可视化[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999
- [2] Gao Jinlei. 2D and 3D Surface Image Processing Algorithms and Their Application[D]. New Jersey: New Jersey Institute of Technology, 2001
- [3] Lee K H, Woo H, Suk T. Point Data Reduction Using 3D Grids[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2001, 18: 201-210
- [4] Hur S M, Kim H C, Lee S H. STL File Generation with Data Reduction by the Delaunay Triangulation Method in Reverse Engineering[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2002, 19: 669-678
- [5] 刘春, 陆春. 三维激光扫描数据的压缩与地形采样[J]. 遥感信息, 2005(2): 6-10



图 8 15° 阈值压缩前后离散点叠加结果

Fig. 8 Overlay of Compressed Result with Threshold of 15°

- [6] William J S, Johntham A Z, William E L. Decimation of Triangle Meshes[J]. Computer Graphics, 1992, 26(2): 65-70
- [7] 李志林, 朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2001

第一作者简介: 刘春, 副教授, 博士。主要研究方向为 GIS 空间数据不确定性理论、LIDAR 数据处理与分析和应用系统开发等。

E-mail: liuchun@mail.tongji.edu.cn

Compress Method for Three Dimension Laser Scanning Data Based on 3D Triangulated Irregular Network

LIU Chun^{1,2} WU Hangbin¹

(1 Department of Survey and Geoinformatics, Tongji University, 1239 Siping Road, Shanghai 200092, China)

(2 Key Laboratory of Advanced Engineering Surveying of SBSM, 1239 Siping Road, Shanghai 200092, China)

Abstract: A data compress idea is put forward by considering the judge accordance of the angle between two normal lines of the triangular plane face. So that the corresponding algorithm of the data compress is given by calculating the angle between two normal lines. The acceptance or rejection of a point is determined according to the comparison between the biggest angle with the defined threshold. As a case study, the Kongzi portrait in Tongji University is scanned and the real three dimensional model is established. The data compression aim to the Kongzi portrait is conducted to achieve the realization of the given method. In order to prove the feasibility of the method and the quality of the compression, several evaluation results are then analyzed same with the case data.

Key words: laser scanning; 3D triangulation irregular network; data compress

About the first author: LIU Chun, associate professor, Ph.D, majors in the uncertainty theory of GIS spatial data, LIDAR data handling etc.

E-mail: liuchun@mail.tongji.edu.cn

(上接第 857 页)

SAR Image Restoration Based on Statistic Characteristics of Wavelet Coefficients

XU Xin¹ WANG Yan¹ CHEN Jiayu¹ SUN Hong¹

(1 School of Electronic Information, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: An algorithm within framework of wavelet analysis based on the statistic characteristics of wavelet coefficients is proposed. The wavelet decomposition of logarithmically transformed SAR images is accurately modeled by stable distributions. The result of experiment indicates that the proposed method reduces speckle in SAR images while preserving the structural feature and textural information of the scene.

Key words: synthetic aperture radar; α stable distribution; wavelet decomposition; speckle

About the first author: XU Xin, Ph.D, associate professor. His research interests include SAR image understanding and statistical signal processing.

E-mail: xuxin@eis.whu.edu.cn