

改进的多传感器数据统一算法

葛宝臻 杜朴 孙宇臣 卢波 吕且妮

(天津大学精仪学院光电信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300072)

摘要 为了避免多传感器获得的数据在物体相同部分存在重叠的问题,提出了一种基于2维网格处理的多传感器数据统一算法。该算法通过对等值面点数据依次进行改进的2维Delaunay三角剖分、顶点删除法网格简化、三角片取重心、数据整合及采样等操作,实现了多传感器数据的统一。对实验室激光3维人体扫描系统获得的人体数据进行的实际处理结果表明,该算法具有处理速度快、操作简便、能有效删除噪声等优点。

关键词 数据统一 多传感器 三角剖分 网格简化

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2007)07-1296-05

An Improved Algorithm of Multi-sensors Data Merging

GE Bao-zhen, DU Pu, SUN Yu-chen, LU Bo, Lü Qie-ni

(Key Laboratory of Opto-electronics Information and Technical Science, Ministry of Education,
College of Precision Instrument & Opto-electronic Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072)

Abstract Based on 2-D mesh processing, a point-clouds data merging algorithm, which processes the data obtained by multi-sensors, is proposed. It successively treats the point-clouds data in each cross-section layer with the improved 2-D Delaunay triangulation, triangle meshes decimation, triangle's barycenter calculation, data integrating and sampling. A practical application, which implements this algorithm to process human point-clouds data obtained by a 3D human body laser scan system in our lab, is presented. Experimental results show that this approach can realize point-clouds merging with good effect.

Keywords data merging, multi-sensors, triangulation, triangle meshes decimation

1 引言

基于结构光的扫描方法是3维外形轮廓测量的一种常用方法^[1],这种方法以点、线或面激光光源与机械扫描技术相结合,通过多传感器数据采集与数据拼接来得到物体的3维轮廓数据。由于在采集和标定过程中存在误差,因此将导致经过对齐后的多传感器数据仍不可避免地存在着重叠区域,这将造成对齐后的点云图不能形成单一的曲线或曲面,进而影响后期的测量及曲面重建等工作。为此,必须研究多传感器数据统一的处理方法,使得不同传

感器在物体相同部分的重叠数据能够形成单一的曲线或曲面。

目前多传感器数据统一的处理方法主要是Hong-Tzong提出的算法^[2]。文献[2]通过对两个数据集的重叠区域进行插值计算,虽可以得到不错的效果,但是在扫描小轮廓物体时可能会在局部形成3个数据集重叠的局面,这时候这种算法就比较难处理了。

本文通过对2维Delaunay三角剖分和顶点删除法等算法进行改进和组合,提出了一种基于网格处理和距离收缩的点云拟合算法。该算法首先对对面点进行改进的2维Delaunay三角剖分,并应用

基金项目:天津市科技攻关培育项目(05YFGPX05000);国家自然科学基金资助项目(60277009)

收稿日期:2005-12-02;改回日期:2006-06-13

第一作者简介:葛宝臻(1964~),男,教授,博士生导师。主要从事激光3维彩色成像及数据处理技术、光电信息处理与光电仪器、激光粒子测量等教学和科研。E-mail: gebz@tju.edu.cn

α -shape原理处理剖分结果,这样处理后,在点云混杂和非混杂区域将分别产生三角网格和直线段序列。在提取三角网格部分后,再使用改进的顶点删除法对网格进行简化处理,并用简化后三角形的重心点取代原三角形的3个顶点作为新的数据点,然后将新点与直线段序列中的顶点进行整合,以得到处理后的数据点。当点云混杂严重时,可以应用以上步骤重复处理。

2 基于网格处理和距离收缩的点云拟合算法过程

2.1 改进的2维散乱点集的Delaunay三角剖分

2维Delaunay三角剖分是一种较理想的2维点集剖分算法,其中Cline与Rinka提出的三角剖分算法^[3,4]运行效率较高,获得了比较广泛的应用。本文基于Cline-Rinka算法,并针对本课题的数据特点对算法进行了改动,其基本步骤如下:

(1) 对平面凸域内的散乱数据点集进行预排序,形成顶点表 V ;

(2) 取顶点表 V 中的前3个非共线点 v_1, v_2, v_3 构造初始三角形 t_1 ,此三角形 t_1 就是最初的三角网格 m_0 ;

(3) 从顶点表 V 中顺序取出下一个点 $v_i (i \geq 4)$,再找出已有网格 m_i (此前经过 i 次网格变换)边界上能被此点 v_i 见到的边 e_j ,如果 v_i 与可见边 e_j 的两个端点间的距离均大于设定的门限值 τ ,则用直线段将 v_i 与可见边的端点相连来获得新的三角形 t_j ,并将其存入三角形链表 T ,否则舍弃 v_i ,并将其存入舍弃点链表 DV ;

(4) 使用最小内角最大准则对三角网格 m_i 进行优化,得到最优三角剖分;

(5) 遍历顶点链表 V ,依次加入新点重复以上操作,最终得到散乱数据点的Delaunay三角剖分,并获得三角网格 m_i 及三角形链表 T ;

(6) 遍历三角剖分后的三角形链表 T ,如果某三角形 t_i 外接圆半径大于所设定的 α 值,则从链表 T 删除此三角形 t_i ,否则保留,最后,将已删除三角形中不再属于网格的顶点 v_i 重新加入舍弃点链表 DV ;

(7) 遍历舍弃点链表 DV ,取出位于三角网格 m_i 外部的点,再对每个点连接与其距离最近的点,生成直线段 l_i ,如果直线段 l_i 的最小外接圆半径小

于所设定的 α 值,或表达为直线段 l_i 长度小于 $\alpha/2$,则保留此直线段 l_i ,并存入直线段链表 L 。

本文对原算法的改动主要有3点:

(1) 在第3步中,对点间距离小于门限值 T 的线段不予连接,这样做主要是考虑到对间距非常短的点进行三角化不仅对距离收缩毫无裨益,而且也会增大后期网格简化的运算时间。

(2) 增加第7步,因为物体截面轮廓线通常不含分叉,所以位于三角网格外部的点必定是直线段上的点,这部分点就是非混杂的点云,予以保留。

(3) 在第6,7步中使用 α -shape原理^[5]对剖分结果进行检验。由于上述第3步中连接所有点的可见边端点的做法将会产生很多贯穿整个截面轮廓的三角形,而此处的目的是对局部(点云混杂处)的三角网格进行处理,所以应避免这种三角形的产生。因此本文采用 α -shape原理对散乱数据进行有限制的三角剖分,其方法为:在2维三角剖分之后对所有单纯复型(三角形和直线段)进行检测,当它的最小外接圆半径小于等于 α ,并且外接圆内部不包括其他点时,则这个复型就属于点集的 α -shape。若不符合上述条件时,则删除这个复型。 α 值由用户估算给出,约等于混杂点间的距离。

2.2 顶点删除法网格简化

经过以上操作后,虽然已经得到了所要求的散乱点集Delaunay三角剖分,但是所得到的网格仍然过于杂乱,需要进行适当的网格简化之后才能对网格内三角形取重心坐标点。Schroeder的顶点删除算法^[6]是一种简单而有效的三角网格简化算法,其基本思路是运用多重处理来简化网格,它是使用距离或者角度作为顶点删除标准,并且采用了渐进式的顶点删除方法^[7,8]。这种方法是根据局部拓扑和几何特征来设立删除条件,在处理期间,则根据每个符合条件顶点的删除条件,按从大到小的顺序依次放入待删除顶点的优先队列;之后依次从优先队列中读取并删除此顶点及与其相连的三角片;最后使用递归回路分裂方法对删除后遗留的孔洞进行三角化。通常使用简化三角形数目的百分比或者总容许误差来作为算法停止的条件。

2.2.1 判定顶点局部几何特征和拓扑结构

依据顶点周围的局部几何性质和拓扑结构进行分类,就可以决定哪些顶点是可以被删除的。Schroeder将3维网格的顶点归纳为5种类型。由于本算法处理的是2维三角网格,因此顶点只能归

为简单顶点和边界顶点两类,这两类顶点都可以被删除。

2.2.2 估计顶点删除标准

由于文献[6]使用的两种删除标准完全不适合 2 维网格简化,所以针对 2 维网格简化,删除标准应该进行较大的修改。对简单顶点,或者说内部顶点,可使用此点到与其最近的网格边缘距离作为删除标准,如果此顶点与网格边缘不邻接,则认为此距离为零。对边界顶点仍然采用原有的删除标准。处理过程中,先对简单顶点序列进行计算,求出顶点与网格边界的距离;然后依据距离的大小依次插入删除优先队列。如果处理完简单顶点之后仍没有达到算法终止条件(网格减少比率),则再对边界顶点做处理。这样处理的目的是为了在减少网格数目的过程中尽量不改变网格的轮廓形貌。计算简单顶点距离与边界顶点距离的公式近似,以简单顶点为例,设形成直线的两个顶点为 B 和 C ,而候选顶点为 D (如图 1 所示)。

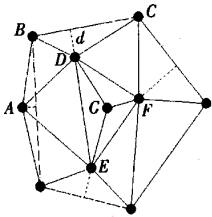


图 1 顶点删除顺序

Fig. 1 Sequence of deleting vertexes

$$\text{设 } \mu = \overline{BD}, \omega = \overline{BC}, |\mu| = a, |\omega| = b, c = \frac{\mu \cdot \omega}{b}$$

则点 D 到直线 BC 的距离 d 可由式(1)求出:

$$d = \sqrt{a^2 - c^2} \quad (1)$$

可见此方法优先删除不临近边界的顶点,其次删除与边界最近的顶点,如果尚未达到终止条件,则删除边界顶点。如图 1 所示,在假设最多删除 5 个顶点的条件下,其优先删除顺序为 G, D, E, F, A 。

2.3 三角片取重心

经过简化,不仅减少了靠近网格边缘较细碎的三角片,而且所剩三角片也以贯穿交错区域的锐角三角形为主,这时删除三角片的 3 个顶点,并引入其重心点作为点集的新点,这样处理就可产生交错区域点集向内部收缩的效果,而引入新点的数目则等于三角片的数目。具体操作方法是遍历三角片链表,对每一个三角片通过检索其顶点在原点集中的

序号来获得顶点坐标,并由三角形重心公式求出其重心点坐标。

2.4 重复处理

当数据中存在 3 个数据点集重叠的情况时,一个处理流程难以得到较好的效果,但是一次处理可以将 3 层重叠数据减为两层(如图 2 所示)。所以对于最坏的情况一般也只需要两次处理就能取得不错的效果。

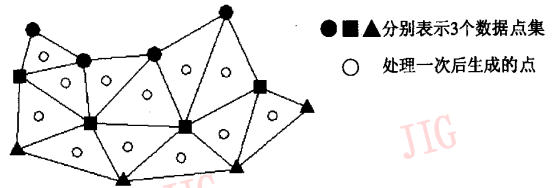


图 2 3 层重叠处理示意图

Fig. 2 Illustration of dealing with 3 layers' points

2.5 处理流程综述

本文所述算法流程基本步骤如下:

(1) 估算点云混杂区域的最大点间距离,并指定其为 α 值,然后以扫描间距的五分之一作为门限值 τ 。确定这两个参数后,再对原始点集进行本文所述的 Delaunay 三角剖分,然后将所得的直线和三角片分别存入链表;

(2) 指定网格简化百分比(一般取 30% ~ 60%),取出三角片链表,用改进的顶点删除法进行网格简化,将简化结果存入新的三角片链表;

(3) 对新的三角形链表进行取重心点操作,将所得新点单独存入新链表。

(4) 检索第 1 步结果中的直线链表,将获得的端点单独保存;

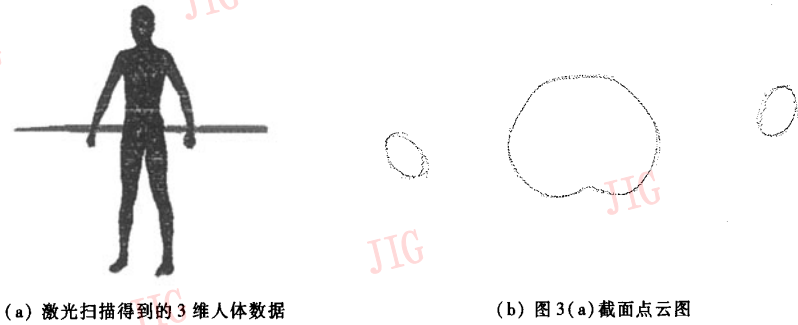
(5) 将第 3 步与第 4 步的两个点链表整合为一个点链表,到此就完成了—次完整的处理过程;

(6) 当混杂区的宽度较大时,以上一系列操作的收缩效果有可能达不到要求,则重复以上操作过程。

(7) 由于处理后的点集已经不存在点云交叠,所以可以用常用的单曲线光顺算法来得到理想的点集。

3 实际数据处理结果

按上面所述算法,对图 3(a)所示的由本实验室



(a) 激光扫描得到的 3 维人体数据

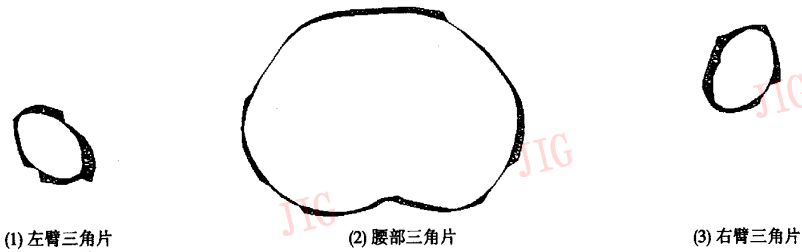
(b) 图 3(a) 截面点云图

图 3 人体 3 维点云图

Fig. 3 Human body's 3D point cloud

研制的激光 3 维人体扫描系统获得的人体数据的一个截面进行了实际处理。图 3(b)是对应图 3(a)标识的截面的点云图,总点数为 1259。从图 3(b)中清晰可见腰部和两个小臂的横截面,图中多个 CCD 获得的数据拼接在一起产生了很多点云混杂区域。

图 4 是对图 3(b)经过上述算法各步骤处理后的结果。图 4(a)是对图 3(b)进行改进的 Delaunay 三角剖分后的结果,经过三角化,在点云混杂区形成了一定宽度的网格片。图 4(b)(1)是取出图 4(a)(1)中左臂的三角片链表进行网格简化后的效果,图中有间

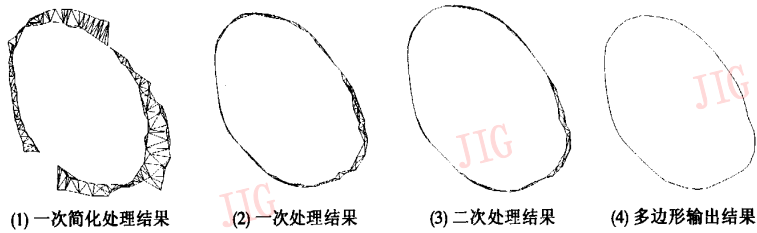


(1) 左臂三角片

(2) 腰部三角片

(3) 右臂三角片

(a) 对图 3(b)用改进的 Delaunay 三角剖分方法处理后的结果



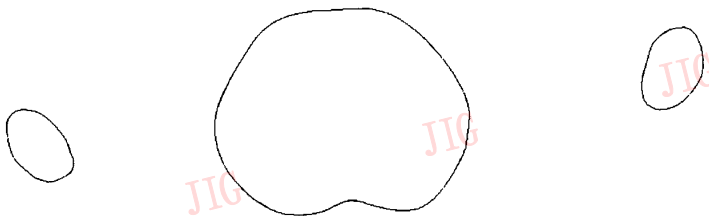
(1) 一次简化处理结果

(2) 一次处理结果

(3) 二次处理结果

(4) 多边形输出结果

(b) 图 4(a) 左臂三角片处理后的效果



(c) 图 3(a) 截面多边形输出效果

图 4 人体轮廓截面数据处理结果

Fig. 4 The results of dealing with human body section

断的部分就是没有点重叠的直线部分。经过简化,网格中三角片在数量上减少了 70%,而且形状多以锐角三角形为主。之后再对三角片取重心,与直线端点整合,然后对新生成的点集再次进行三角剖分,其效果如图 4(b)(2)所示。可见经过一次处理,点云混杂区域的网格宽度有所收缩,点数也缩减到 880 个。对此点集再使用相同方法进行二次处理,并进行三角化的效果如图 4(b)(3)所示,网格再次收缩,点数减少到 477 个。图 4(b)(4)是对左臂最终点集使用均匀网格法进行采样和局部光滑后输出为多边形的效果,可见本算法融合效果良好,最终点数为 258 个。图 4(c)是整个截面多边形输出的效果,由图 4(c)可见,它的光顺性也是较为出色的。

所有等值面数据经处理后,其重建的效果如图 5 所示。原来很难 3 维模型化的数据经过本文方法处理后,不仅变得易于重建,而且对模型的后期处理也减少了,达到了比较好的处理效果。



图 5 人体表面模型

Fig. 5 Human body's surface model

4 结 论

本文所提出的算法对普通的来自于多传感器的扫描数据均可得到较理想的处理效果,不仅接口简单,需要用户设定的外部参数也只有 α 和门限值 τ 两个,而且整个处理过程完全自动进行,不需要任何

人工交互。由于输出结果可以选择点或多边形形式,这样可以一次性解决连通分支判别及点集排序的问题,从而提供了兼容其他多种算法的接口,方便以后的计算。这个算法还具有一定的集成性,整个处理过程实际上涵盖了噪声点处理、数据采样及一定程度上的光滑处理,从而为后期重建测量等处理带来了方便,并且不失精度。运算速度快,处理 40 万个点、500 个等值面的庞大数据只需要 30s。

由于这种算法根本上是基于距离运算的,因此它具有距离算法先天的缺憾,比如对曲率过大或数量过少的有效数据点进行处理时,会造成数据的丢失。

参考文献 (References)

- 1 Ge Bao-zhen, Sun Ming-rui, Lü Qie-ni, *et al.* Research of a laser 3D body scanning system by light stripe method [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2003, 14(7):733 ~ 736. [葛宝臻, 孙明睿, 吕且妮等. 光带法激光三维人体扫描系统研究[J]. *光电子 · 激光*, 2003, 14(7):733 ~ 736.]
- 2 Yau Hong Tzong, Chen Chun Yan, Wilhelm Robert G. Registration and integration of multiple laser scanned data for reverse engineering of complex 3D models [J]. *International Journal of Production Research*, 2000, 38(2):269 ~ 285.
- 3 Cline A K, Renka R L. Storage efficient method for construction of a thiesen triangulation [J]. *Rocky Mountain Journal of Mathematics*, 1984, 14(1):119 ~ 139.
- 4 Zhu Xin-xiong, *et al.* Free Curves and Surfaces Modeling Technology [M]. Beijing: Press of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2000. [朱心雄等. 自由曲线曲面造型技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2000.]
- 5 Edelsbrunner H, Mücke E P. Three-dimensional alpha shapes [J]. *ACM Transactions on Graphics*, 1994, 13(1):43 ~ 72.
- 6 Schroeder W J, Zarge J A, Lorensen W E. Decimation of triangle meshes [J]. *ACM Computer Graphics*, 1992, 26(2):65 ~ 70.
- 7 Hoppe H. Progressive Meshes [A]. In: *Proceedings of the Computer Graphics Annual Conference Series [C]*, New Orleans, Louisiana, USA, ACM Press, 1996:99 ~ 108.
- 8 Zhou Kun, Pan Zhi-geng, Shi Jiao-ying. Smooth transition between levels of detail of models [J]. *Journal of Computer Aided Design and Computer Graphics*, 2000, 12(6):463 ~ 467. [周昆, 潘志庚, 石教英. 多细节层次模型间的平滑过渡 [J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2000, 12(6):463 ~ 467.]