

一种快速的三维点云自动配准方法

谢冬香, 刘先勇

(西南科技大学 信息工程学院, 四川 绵阳 621000)

摘要: 采用主成分分析方法(PCA)定义了简单的数学模型和轴向确定方法等来实现配准。大量实验证明, 算法能够快速实现任意形状、大小及位置的两片点云配准。

关键词: 点云处理; 配准; 主轴旋转法; 轴向确定

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)06-0047-03

A robust and automatic registration of 3D point sets

Xie Dongxiang, Liu Xianyong

(School of Information Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621000, China)

Abstract: This paper applied the principal component analysis method (PCA) and defined the simple mathematical model and the axial direction determination method to register two point clouds. A large number of experiments proved that the proposed algorithm registers two point clouds in any shape, any size and location quickly.

Key words: point cloud processing; registration; the principal component analysis method; the axial direction determination

在机器视觉众多应用领域中, 如立体匹配、图像配准和形状识别等, 点云配准操作一直都是一个关键步骤。点云配准就是将一片点云(测试点集)的坐标匹配到另一片点云(参考点集)的坐标下, 从而达到两片点云坐标的一致性, 其配准精度直接影响后续误差分析的可靠性。目前, 常用的配准方法有遗传算法、最小二乘匹配方法、三点对齐法以及 ICP 算法。遗传算法和最小二乘匹配方法需要多次迭代处理, 计算复杂度高并且配准时间长; 三点对齐法实现原理简单, 能够很快地实现初始配准, 但必须准确地确定出 3 对基准点的对应关系^[1]; ICP 算法是一种众所周知的算法^[2], 传统的 ICP 算法虽简单, 但在实际应用中具有限制性, 因为它假设每一个点都可以在对应的点集中找到对应点, 当两模型数据不一样时, 该假设就不成立。

在配准过程中, 涉及旋转和平移矩阵的求取, EGGERT D W 等人对比了奇异值分解法(SVD)、正交矩阵法(OM)、单四元素法(UQ)以及双四元素法(DQ)4 种当前流行和最有效算法的鲁棒性和精确度^[3], 运用分离算法测试了 4 种算法的稳定性。在非退化数据点集的情况下, 大多数情况 SVD 和 UQ 是相似的, 少量情况下是 SVD 更好一点, OM 对于平面数据点集不稳定, 而 DQ 算法则没有一种情况比其他 3 种算法好。基于这些测试结果, 本文采用 SVD 来得到旋转矩阵。

《微型机与应用》2013 年 第 32 卷 第 6 期

1 本文算法

主成分分析方法(PCA)的基本思想是, 采用统计方法, 对多变量表示数据点集合寻找尽可能少的正交向量表征数据信息特征。本文采用 PCA 定义了简单的数学模型和轴向确定方法等。本文配准算法简单、稳定可靠、计算速度快且计算复杂度小。

1.1 数学公式定义

定义 1 三维数字图像的绕矩定义为:

$$m_{ijk} = \sum_{x,y,z} x^i y^j z^k \quad (1)$$

绕矩 m_{ijk} 的次数定义为 $i+j+k$ 。

定义 2 设三维数字图像的质心为 (g_x, g_y, g_z) , 则中心绕矩为:

$$u_{ijk} = \sum_{x,y,z} (x-g_x)^i (y-g_y)^j (z-g_z)^k \quad (2)$$

定义 3 设数字图像的惯量矩阵 I 定义为:

$$I = \begin{bmatrix} I_{xx} & -I_{xy} & -I_{xz} \\ -I_{yx} & I_{yy} & -I_{yz} \\ -I_{zx} & -I_{zy} & I_{zz} \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中, $I_{xx} = u_{200}$, $I_{yy} = u_{020}$, $I_{zz} = u_{002}$, $I_{xy} = I_{yx} = u_{110}$, $I_{xz} = I_{zx} = u_{101}$, $I_{yz} = I_{zy} = u_{011}$ 。

定义 4 由于惯量矩阵 I 是对称的, 因此一定存在实特征值。设 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 是惯量矩阵的 3 个实特征值, 这 3

欢迎网上投稿 www.pcachina.com 51

图形、图像与多媒体

Image Processing and Multimedia Technology

个实特征值一定有 3 个不同的特征向量,正交化后一定存在一组对应的正交特征向量 V_1 、 V_2 和 V_3 ,将这 3 个特征向量称为物体的一组主轴。将物体的质心作为坐标原点并将其与这一组主轴一起定义为对象中心坐标系,如图 1 所示。

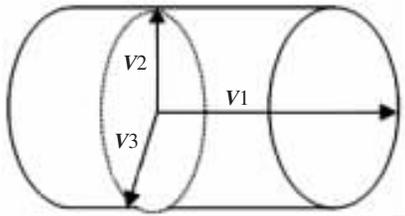


图 1 对象中心坐标系

1.2 算法流程

本文算法主要是通过计算测试点集到参考点集的平移和旋转矩阵将测试点集配准到参考点集下,图 2 为算法的流程图。

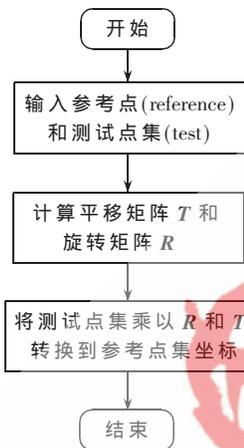


图 2 算法流程图

1.3 旋转平移矩阵的获取

计算参考点集和测试点集的质心。为了提高算法的速度,本文采用以下质心计算方法:

$$\begin{cases} C_x = m_{100}/n \\ C_y = m_{010}/n \\ C_z = m_{001}/n \end{cases} \quad (4)$$

其中, n 代表点集的个数。根据定义 2、定义 3 计算惯量矩阵 I ,由定义 4 可以得到参考点集和测试点集的惯量矩阵 I_1 、 I_2 的特征值和特征向量。以 I_1 为例,得到正交特征向量 V_1 、 V_2 和 V_3 ,以这 3 个特征向量建立坐标系有 8 种情况,首先规定坐标系必须满足右手规则,便可去掉 4 种情况。2008 年张树森采用包围盒到去掉配准方向相反的情况,该方法计算速度非常慢^[4]。本文先找到最大特

征值对应的正交特征向量 V_1 ,然后寻找点集中离质心最远的点,如果此点与特征向量 V_1 的夹角小于 90° ,则 $u_1=V_1$,反之, $u_1=-V_1$,同理可以求得 $u_2, u_3=u_1 \times u_2$,大大提高了配准速度。

得到了参考点集和测试点集的正交特征向量后,旋转平移变换就转换为求取两组正交向量组的变换。由此可以得到待 SVD 分解的两点集相关矩阵为^[5]:

$$H = M_a^* D_a \quad (5)$$

其中, D_a 、 M_a 分别是参考点集和测试点集的正交特征向量组成的向量矩阵。设 H 的奇异值分解为 $H = USV^T$,因此旋转矩阵 R 的最优解为:

$$R = UV^T \quad (6)$$

最优的平移矩阵就是将测试点集的中心移动到参考点集的中心下。设测试点集和参考点集的中心分别为 T_0 和 C_0 ,则可以得到平移矩阵 T 为:

$$T = T_0 - C_0^* R \quad (7)$$

最后得到旋转平移矩阵 M :

$$M = \begin{bmatrix} R & 0 \\ T & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

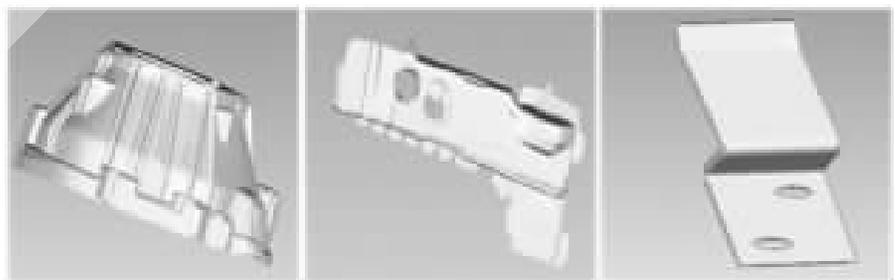
其中, R 为 3×3 的矩阵, 0 为 3×1 的矩阵, T 为 1×3 的矩阵。将所有测试点集乘以此旋转平移矩阵并将其移动到参考点集下,实现了快速配准。

2 测试效果

以下所有测试实验均是在 CPU 为 2.52 GHz,内存为 3.50 GB 的环境下进行的,采用了 C++ 语言和 OpenCV 2.3.1 基础库,并在 VS 2008 软件平台上编译运行。为了验证算法的稳定性,测试选用了不同的形状,图 3 所示为 3 种典型模型的配准效果。其中,模型 1 为绵阳铁牛科技扫描的点云,模型 2 和模型 3 的点云采用的是 Geo-



(a) 模型 1 配准前点云模型 (b) 模型 2 配准前点云模型 (c) 模型 3 配准前点云模型



(d) 模型 1 配准后点云模型 (e) 模型 2 配准后点云模型 (f) 模型 3 配准后点云模型

图 3 三维点云配准

《微型机与应用》2013 年 第 32 卷 第 6 期

图形、图像与多媒体

magic Qualify 12 中的模型。从图 3 可以看到,这 3 种模型都可以实现配准。

表 1 为各种模型的两片配准模型的点云个数和粗配准所需要的时间,可以看出,点云数据在几十万的情况下,配准时间全都是 ms 级。

表 1 配准点云数目和配准所需要的时间

	模型 1	模型 2	模型 3
参考点云数目	498 087	648 236	1199 815
测试点云数目	114 564	801 59	103 673
配准时间/ms	87	364	56

实验结果证明,本文采用的配准方法算法简单、稳定可靠、计算速度快且计算复杂度小,对实现大量点云快速配准具有使用价值。

参考文献

- [1] 严平,孙肖霞.基于 CAD 模型的涡轮叶片误差检测系统[J].北京航空航天大学学报,2008,34(10):1159-1162.
- [2] BESL P J, MCKAY N D. A method for registration of 3-D shapes[J].IEEE Transactions on Pattern Analysis and

Machine Intelligence (S0162-8828),1992,2(14):239-256.

- [3] EGGERT D W, LORUSSO A, FISHER R B. Estimating 3-D rigid body transformations: a comparison of four major algorithms[J]. Machine Vision and Applications (S0932-8092),1997,9:272-290.
- [4] 张树森,李玮,程俊廷.基于逆向工程的三维测量点云数据与 CAD 数模配准算法研究[J].制造技术与机床,2008(3):114-117.
- [5] APLPERT M, BRADSHAW J G. The principal axes transformation—a method for image registration[J]. The Journal of Nuclear Medicine(S0161-5505),1990(31):1717-1722.

(收稿日期:2012-12-20)

作者简介:

谢冬香,女,1986 年生,硕士研究生,主要研究方向:三维点云识别与图像处理。

刘先勇,男,1964 年生,博士后,教授,主要研究方向:机器视觉,光声气体检测,三维光学测量。