

基于微小复杂物体的三维重建算法

邱光帅, 潘维东, 晋帆

(昆明理工大学 生物与化学工程学院, 云南 昆明 650224)

摘要: 在 Hough 变换的基础上, 通过对物体的多方位图像信息来计算空间中物体的像素点, 并对由像素点所组成的实体模型表面进行纹理映射, 以获得物体的真实三维图像. 该算法简单、操作方便, 具有良好的鲁棒性, 所以具有一定的实用价值.

关键词: 三维重建; 计算机视觉; 计算机图形学

中图分类号: TP301.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2006)02-0100-04

3-D Reconstruction Method of Slim and Complex Patterns

Q U Guang-shuai, PAN Wei-dong, J N Fan

(Faculty of Biological and Chemical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China)

Abstract Based on the Principle of Hough Transform, the pixel points of the object in the space can be determined by using the multi-positional video frequency information acquired from a rotating object by a CCD camera and the texture to every pixel points of the object surface is mapped to gain the real image of the object. This is a simple Algorithm with fine robustness and convenient in operation, which can be implemented in some practical applications.

Key words 3-D reconstruction; voting; computer vision; computer graphics

0 引言

将客观世界在计算机中真实的再现, 是计算机视觉和计算机图形学研究的一个热门领域. 而其中根据不同视点所获得的物体的投影来重建原空间物体的三维图像是计算机视觉中的一个十分困难而又非常吸引人的问题^[1]. 研究最多的是以人脸检测和保存古建筑物形状模型为应用目的的人脸重建和建筑物重建. 其共同点是重建对象结构简单规范, 且体积大, 这样重建时不需太多考虑遮挡问题, 精度也不要求太高. 但是, 随着信息科学的发展, 其它一些物体的三维重建问题也将有越来越重要的意义, 如植物根系和枝杆的三维重建是植物生长建模和植物营养分析的重要工具. 这些物体可能体积较小但遮挡现象多, 重建精度要求高, 因此其难度会更大. 目前, 常用的重建方法之一是用两个或三个摄像机来确定关键点或网格点的位置, 有的还借助激光测距来计算对应点的空间位置, 然后根据这些信息来编辑调整基本模型的网格位置, 再贴上外表纹理. 这种方法对于不规则和形状结构变化多样的物体的重建就会遇到两个很大的困难: 基本模型难于建造和对应点不好找. 1995 年林学阁和陈向荣提出了一种结构光辅助照射法^[2], 可以克服上述两个问题, 但精度要求越高, 就要求结构光越细腻. 另外, 马颂德提出了一种基于二次曲线匹配视觉的无对应点匹配的三维重建方法^[3,4]. 这种方法对重构由比较简单规则的曲线作为其轮廓边界的物体比较适合, 但对于自然界中错综复杂的物体如根系、枝杆的重建, 将会相当困难, 特别是遮挡问题难于解决. 最近, Kutulakos 和 Seitz^[5]提出了一种雕刻和切割的重建方法, 虽然其图像效果不太好, 并且在 PC 机上的运行速度也比较慢, 但却可以克服遮挡问题, 所以引起了人们高度重视. 为此, 本文根据根系及枝杆结构的特点, 提出一种基于 Hough 变换原理的重构算法, 即通过多方位获取很多图像进行投票和计算的方法. 该方

收稿日期: 2005-07-19

第一作者简介: 邱光帅 (1977~), 男, 硕士研究生. 主要研究方向: 计算机视觉. E-mail: sunion@163.com

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

法算法简便, 所以运行速度快, 对摄像机定标精度也没有过高的要求, 并且能很好地克服遮挡问题和信息残缺以及噪声干扰问题.

1 基本原理

Hough在检测二值化图像中简单几何形状时提出一种使用参数来描述简单几何形状的方法, 这种方法后来被称为 Hough变换^[6], 它在图像中应用非常广泛, 本文将原理运用到三维重建中去. 为便于理解, 我们先简单地介绍一下直线的 Hough变换^[7].

我们知道直线的参数方程为: $y = ax + b$ 故在参数空间 (a, b) 上, 每一个点 (a', b') 代表一条直线. 假设在图像平面 (x, y) 上有一条直线通过 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) 及 (x_3, y_3)

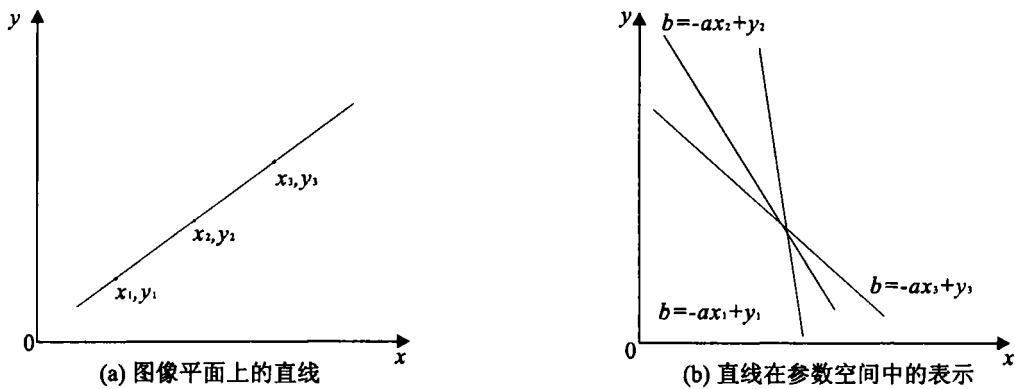


图1 不同空间坐标下的直线表示

Fig.1 beeline denotation in different coordinate

(如图 a), 则在参数空间 (a, b) 上的三直线 $b = -ax_1 + y_1$, $b = -ax_2 + y_2$ 和 $b = -ax_3 + y_3$ 将相交于一点 (如图 b). 因此, 我们可以首先把参数平面离散化, 并建立一个参数 $p(a, b)$, $a_1 \leq a \leq a_k$, $b_1 \leq b \leq b_k$. 对于二值图像上每一个值为 1 的像素点 (x_i, y_i) 建立方程 $b = -ax_i + y_i$, 并对参数 a 在 $a_1 \leq a \leq a_k$ 上的每个值, 计算出相应的 b 值, 将参数矩阵的元素 $P(a, b)$ 的值加 1 (即给 (a, b) 点投上一票): $P(a, b) = P(a, b) + 1$ 重复这个过程, 直到扫描过所有的像素点. 在过程结束时, 如果 $P(a, b)$ 的值大于某一个阈值, 就表示检测到了直线 $y = ax + b$

与直线的情况相类似, 在针孔模型中, 如果三个投影平面的某个点都是物体空间中的同一个点的投影, 则这三个点的原像 (为一直线) 必交于物体空间中的一点. 在针孔模型中, 若 (X, Y, Z) 为空间中的一点, (x, y) 是其在投影平面的投影, 则有^[8]:

$$x = \frac{f_x X}{Z}, y = \frac{f_y Y}{Z}$$

其中 f_x, f_y 分别是水平和垂直方向的摄像机焦距. 反过来, 如果 (x, y) 为投票平面上的一点, 则它的原像为

$$(X = \frac{xZ}{f_x}, Y = \frac{yZ}{f_y}, Z) \quad (Z \text{ 为任意非负实数})$$

这些点构成一条直线. 由此, 我们可以首先离散化物体, 建立参数矩阵 (或称投票箱) $V(X, Y, Z)$:

$$X_L \leq X \leq X_R, Y_B \leq Y \leq Y_T, Z_F \leq Z \leq Z_B$$

对于每一个投影平面上二值图像上每一个值为 1 (即景物上的点) 的像素点 $(x^{(i)}, y^{(i)})$, 建立方程 $X^{(i)} = \frac{x^{(i)} Z}{f_x}$, $Y^{(i)} = \frac{y^{(i)} Z}{f_y}$, 并对参数 Z 在 $Z_F \leq Z \leq Z_B$ 上的每一个值, 计算出相应的 X 和 Y 值. 将参数矩阵的元素 $V(X, Y, Z)$ 的值加 1 (即给点 (X, Y, Z) 投上 1 票):

$$V(X, Y, Z) = V(X, Y, Z) + 1$$

重复这个过程,直到扫描完所有的投影平面和投影平面上的所有像素点,在过程结束时,如果 $V(X, Y, Z)$ 的值大于某一个阈值,就表示检测到 (X, Y, Z) 在物体上,所有这些点组成的集合,即是物体的实体模型图像。

2 实验步骤

实验的主要工具时用 1 个或 2 个摄像机和一个可以数字控制的旋转台.先对摄像机的焦距及光心与旋转台转轴的位置关系标定好,这种标定比较方便,甚至可以通过一些简单辅助办法将摄像机中心光心线与旋转台转轴在一个平面上相互垂直,且中心光心线与转台面平行.然后将物体放在旋转台上旋转,摄像机同时捕捉图像,得到一帧视频图像,根据需要,均匀挑选视频图像的部分图像,将其二值化使景物与背景分离,然后利用 Hough 变换原理投票合成物体的三维实体图像。

投票的具体方法如下:

假设 $(x^{(1)}, y^{(1)})$ 是第 1 帧图像的二值化后的值为 1 的点(即为黑点),我们选择第 1 帧图像的投影方向为起始方向,则它可能是从 (X, Y, Z) 中某点投影过来的,这里 M 是物体分布的位置范围, Z_0 是旋转台转轴到摄像机光心的位置,因此,我们对所有这样的点 (X, Y, Z) 都投上一票。

$$X = x^{(1)} (Z_0 + i) f_x$$

$$Y = y^{(1)} (Z_0 + i) f_y$$

$$Z = Z_0 + i$$

$$i = 0 \pm 1 \pm 2 \dots \pm M$$

依此类推,假定第 n 帧图像中 $(x^{(n)}, y^{(n)})$ 为一黑点,且由第 1 帧到第 n 帧之间物体和转台向逆时针方向转了 θ_n 弧度角,则我们对以下 (X, Y, Z) 都投上一票,其中:

$$X = [x^{(n)} (Z_0 + i) f_x] \cos\theta_n + (Z_n + i - Z_0) \sin\theta_n$$

$$Y = y^{(n)} (Z_0 + i) f_y$$

$$Z = Z_0 - [x^{(n)} (Z_0 + i) f_x - Z_0] \sin\theta_n + (Z_0 + i - Z_0) \cos\theta_n$$

$$i = 0 \pm 1 \pm 2 \dots \pm M$$

当对所有选择的图像及其所有像素点扫描完后,统计票数(即看 $V(X, Y, Z)$ 的值),我们规定物体空间中的任意一点 (X, Y, Z) 在每一帧的图像投票中至多得到 1 票,这样我们就可以所选择的参加投票的总帧数 N 为基准来确定票数阈值 T ,一般我们选择 $T = 80\%N$ 。

如图 2 所用这些票数大于阈值的点的集合即组成物体的三维实体图像模型.为检查和显示结果,可根据适当比例

显示其正投影图像,并设计程序用鼠标翻动物体,以观看各方位投影信息。

上述实验的精度起码可以达到 0.1mm,若利用显微镜照相机或精度更高的转台及更精确的标定,其精度还可以进一步的提高.从上面实验结果可以看出,这种方法的效果是令人满意的,特别是对构造植物的根、杆及枝等效果特别好.实际上,这种方法对于重构体积小,而结构复杂的物体图像,与传统的双摄像机找对应点的方法相比,有以下几个优势:它不要求对应点,因此对标定精度要求不高,即使摄像机标定求得的参数可能会相差 1~2mm,但由于变量 i 是在一定范围内遍历的,所以不影响重构的整体形状,甚至我们可以通过改变 Z_0 与 f_x 和 f_y 的比例关系来扩大或缩小所构造物体.它的三维图像是由像素点

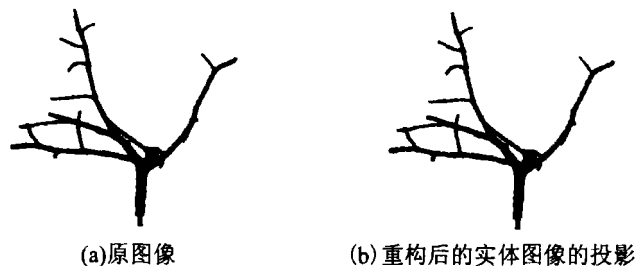


图2 重构图像对比

Fig.2 reconstruction figure contrast

堆积起来的实体, 所以它给将来的处理和计算带来很大的方便, 如在植物根构形分析中就可以很容易利用这种图像抽取中心, 根据中心来计算根长和根夹角. 这将为植物营养分析和作物生理特征分析提供有力工具. 这种投票方法是对每一个投影点的所有可能的原像都投了票, 因此很好地克服了遮挡问题. 这种投票主要是对随着转台转动的点投票, 一般说来, 物体内部的点的票数都占总帧数的 95% 以上, 而对于边界上的点由于受到光照条件的影响, 其票数有点动荡, 但仍然要超过总帧数的 80% 以上, 对于噪声点, 由于它不随转台规则变换位置, 所以其票数总是在总帧数的 10% 以下, 在重建时会被去掉, 因此这种方法去噪能力强. 另外, 若我们取阈值为总帧数的 80% 或稍小一些, 则即使有部分物体的像素点被二值化滤掉或因光照原因在某些帧上未被采集上, 这些点的票数也能超过阈值, 所以该方法鲁棒性好. 这种方法算法简单, 容易编程实现自动化而且运算速度快. 在内存为 1G 和 CPU 为 PM 的 PC 微机上构造上述图所示的物体, 需要的总时间均在 15 min 之内, 所以达到了 PC 机上的实时处理能力和全自动化能力. 因此, 有望利用这种方法原理来开发有关的实用三维扫描系统. 这种方法所构造的物体的每一点与每一帧投影图像的有点明确的对应关系, 所以很方便进行纹理映射.

3 结 论

这是一种成本低而又很实用的方法. 但是, 由于这种方法构造的图像是三维实体, 对于重构体积大的物体所需的内存空间很大, 对于目前市场上的 PC 机是无法承受的, 因此需要对其进行改进和深化, 希望生成物体表面图像或做出其三维网格模型, 使其能进行编辑, 并能应用于人脸建模和人脸识别等其它一些重要领域中去, 这有待于今后进一步深入的研究.

参考文献:

- [1] 马颂德, 张正友. 计算机视觉——计算理论与算法基础[M]. 北京: 科学出版社, 1998 50-110
- [2] 林学, 陈向荣. 基于双外极线的结构光深度信息快速获取[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 1998, 38(1): 96-99.
- [3] MA Songde, SI Shaohua, CHEN Zhiyi. Quadric Curve Based Stereo[C] // Proc. of 11th International Conference On Pattern Recognition IEEE. The Hague, the Netherlands, September 1992: 1-4
- [4] 丁明跃, WATRIF M. 无对应点匹配的三维重建[J]. 电子学报, 1995(9): 123
- [5] KUTULAKOS K N, SEITZ S M. A Theory of Shape by Space Carving[C] // Computer Vision: The Proceedings of the Seventh IEEE International Conference On Volume, 1999. 1.
- [6] HOUGH P V C. Method and Means for Recognizing Complex Patterns[P]. U. S. Patent 3069654 1962
- [7] 崔屹. 数字图像处理技术与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 1996 100-107.
- [8] SCHMIETZ F, YEMEZ Y. 3D Color Object Reconstruction From 2D Image Sequences[C] // Image Processing, ICIP99. Proceeding International Conference On, 1999. 65-69.