

三维激光彩色扫描仪中获取物体表面弱反射区深度信息的方法*

金 刚 李德华 李泽宇

(华中理工大学图象识别与人工智能研究所, 图象信息处理与智能控制国家教委开放研究实验室, 武汉 430074)

摘 要 在基于结构光的立体信息获取系统中, 当物体表面对于结构光反射较弱时, 会给处理带来困难。文中研究了结构光图象序列中物体在不同位置的成像关系, 提出了一种基于信息融合的方案, 综合利用正侧影轮廓信息和结构光条纹信息, 获得物体表面部分特殊反射区深度。实验结果是令人满意的。

关键词 计算机视觉 深度信息获取 结构光 信息融合

0 引 言

获取物体表面的深度信息是计算机视觉研究的一个重要课题。为此, 先后提出了飞行时间法、立体视觉、结构光、编码光、从轮廓恢复形状、从运动恢复形状等多种方法^[1-5]。各种方法都有其优点和适用范围。其中结构光技术由于具有算法简单、精度高、速度快等优点而在许多系统中得到广泛应用^[2-4]。其基本思路为利用照明光源中的几何信息帮助提取景物中的几何信息(参见图1)。但由于结构光技术依赖于结构光源的照射, 不可避免地带来一个固有的缺点^[5]: 严重地依赖于物体表面的反射情况。当物体表面对光反射很弱时, 在图象中很难检测出光条纹的形状, 这时系统将无法正常工作, 给其应用带来了很大的限制。而立体视觉、从轮廓恢复形状等方法则基本不受物体表面反射特性的影响, 但存在计算复杂、遮挡严重或精度不高等缺点。

近年来, 信息融合技术被引入计算机视觉领域^[6,7], 它综合利用多传感器、多种方法获得的信息, 利用系统原始数据中的冗余性、互补性, 可以得到单一手段无法获得的信息, 减少模糊性, 有效地提高系统的性能。目前, 在视觉理解、识别、重建等工作中都有成功的例子。

从目前的情况来看, 尚未存在通用性很强的基

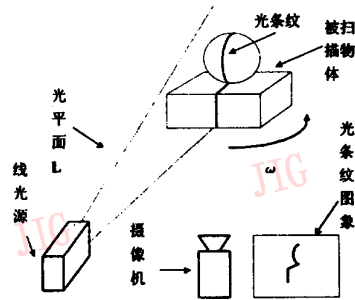


图1 结构光系统原理

于计算机视觉的深度信息获取技术。对于复杂的应用对象, 试图依靠单一的方法来完成是非常困难的。本文引入信息融合的思想, 针对装置的应用特点, 综合利用结构光方法和从轮廓恢复形状的方法的互补性, 构成多方法集成、融合的, 适应性较强的深度信息获取系统。部分克服了传统方案中单纯依靠结构光技术而无法获得物体表面弱反射区深度信息的缺点, 取得了较好的实验结果。

1 系统简介

我们研制的三维激光彩色扫描仪基于结构光技术获取物体表面三维坐标^[8](参见图1)。

* 本文研究得到国家自然科学基金快速反应项目资助, 本文介绍的三维激光彩色扫描仪已于1996年11月获国家专利
收稿日期: 1998-03-27; 收到修改稿日期: 1999-02-10

装置采用线状结构光源,被扫描物体置于转台上,激光平面投射于物体表面,摄像机与激光入射面夹角为 α ,所摄得图象中光条纹的形状反映了物体表面的形状信息(为减小遮挡盲区,可以采用双相机或双光源的方案)。

系统采用柱坐标系,以转台旋转方向为极角 θ 方向, z 轴与转台转轴重合。装置定标后,从光条纹的位置可以计算出被激光照射的点的立体坐标 $(r, z)^{[9]}$ 。转台按设置速率 ω 转动,摄像机以每秒25帧的速率拍摄图象,将图象序列存于硬盘。采样点的极角坐标 θ 对应于图象序列的帧号。转台转过一周,激光线将在物体表面扫描一周。对应的图象序列帧长度: $F_r = \frac{2\pi}{\omega} \times 25 = \frac{50\pi}{\omega}$ 。

装置主要应用于影视业,最常见的扫描对象是人的头部。由于人头部的表面反射情况比较复杂,特别是有大块的头发覆盖的区域反射很弱,无法直接检测结构光条纹获得其深度信息(参见图4(a)中的头发部分),必须作特殊处理。

特殊反射区问题是困扰结构光测距系统的一个

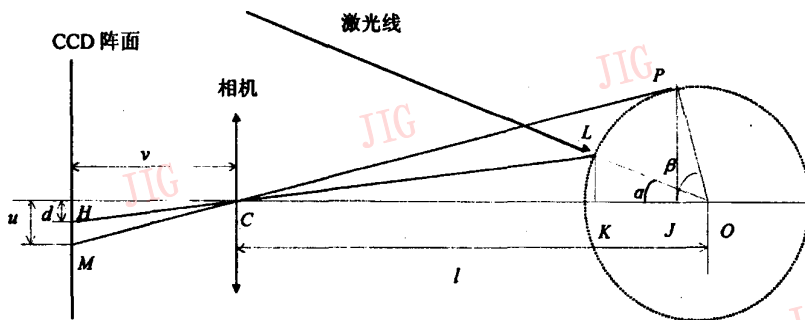


图2 物体表面某点在激光入射面和正侧影位置分别成像

考察物体表面一采样点 A ,设其距转轴为 r ,图中虚线圆为它在扫描中的运动轨迹。在简化情况下, A 始终位于相机景深范围内。当它转至激光入射面位置 L 时,被激光照射,成像于 H ,在图象序列中对应帧号记为 F_H 。检测图象中光条纹的位置,就可以根据结构光测距的算法计算出采样点的深度,这个位置的图象是结构光测距的基础。

如果 A 的表面反射太弱, F_H 帧中 A 对应的光条纹位置将无法检测。结构光方法失效。但是, A 在其它许多位置都成像,即图象序列中存在大量冗余信息。当转台转过一个角度后, A 转至 P 位置,如果 A 附近的区域在形状上满足凸性,可视性,连续性,则 A 的像将出现在物体的轮廓上,成像于 M ,在

大问题,由于情况复杂,本文不打算讨论通用的解决办法,而是以装置实际应用中的难点——头发部位的形状恢复为例来讨论相应的解决方案。这类区域具有如下特点:对光线反射弱,在形状一般满足凸性,可视性,连续性^[6],同时系统对这部分的重建精度要求不高。

对于这类弱反射区,单纯依靠结构光技术显然是困难的。本文将介绍一种多方法集成、融合的方案,综合利用结构光和从轮廓恢复形状的方法进行处理。

2 获取特殊反射区深度信息的方法

对于重建精度要求不很高的情况,可采用相机针孔模型(参见图2,俯视图)。调整装置,令相机光轴与转台转轴相交且垂直,与激光线夹角为 α ,相机光心至成像平面距离为 v ,光心至转台转轴距离为 l 。

图象序列中对应帧号记为 F_C 。这个位置称为正侧影位置。

在这个位置,只要采样点颜色能与背景区分开,它的像就能准确方便地检测出来,而不受其反射特性的影响。由于转台的转动和相机动作规律是确知的,采样点在这两个位置的图象存在着密切的关系。可以考虑以正侧影位置的轮廓信息作为结构光方法的补充,当 F_H 帧中结构光条纹位置 H 无法直接检测时,可以通过 F_C 帧中的轮廓位置 M 来进行估计。这样,就把结构光方法和从轮廓获取形状的方法结合起来。

图2中,有:

$$\frac{d}{v} = \frac{LK}{CK} = \frac{r \sin \alpha}{l - r \cos \alpha} \quad (1)$$

$$\frac{u}{v} = \frac{PJ}{CJ} = \frac{r \sin \beta}{l - r \cos \beta} \quad (2)$$

在系统中,有 $l \gg r$, 因此:

$\beta \approx 90^\circ$, $\sin \beta \approx 1$, $\cos \beta \approx 0$, 简化式(2),有:

$$\frac{u}{v} \approx \frac{r}{l} \quad (3)$$

由式(1)和式(3),并考虑 $l \gg r$, 有

$$\frac{d}{u} = (l \sin \alpha) / (l - r \cos \alpha) \approx \sin \alpha \quad (4)$$

$$d \approx u \sin \alpha \quad (5)$$

式(5)表示了空间点在激光入射面成的像与其正侧影轮廓的近似关系。

从式(5)可以看出,从采样点在正侧影位置的像,可以估计它被激光照射时的对应像坐标。在图象序列中,这两个位置的图象帧号相差:

$$\Delta F = (\beta - \alpha) / \left(\frac{\omega}{25} \right) \approx 25 \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) / \omega$$

则有:

$$F_c = \text{mod}(F_H + \Delta F, F_r) \quad (6)$$

对于在形状上满足凸性、可视性和平滑性条件的区域,如人头发部位,对于扫描图象序列中第 F_H 帧中由于表面反射情况不好而无法检测激光标志线位置的区域(如图4(a)中的头发部位),可以利用第 F_c 帧中检测物体的正侧影轮廓线来估计标志线的位置。

上式均为近似公式,从实验的情况看,存在一定误差。有必要对 d 的误差进行修正。在一阶近似的情况下,有:

$$d = u \sin \alpha + a_0 + a_1 u \quad (7)$$

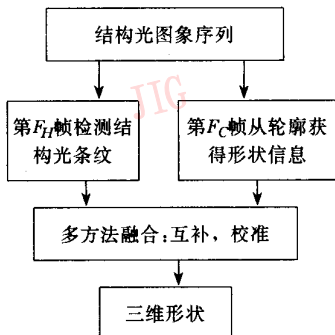


图3 处理流程图

在一般情况下,第 F_H 帧(或其前若干帧)中总有部分位置的结构光条纹是可以准确检测出来的,可以利用这部分准确值求出 a_0, a_1 , 对估计值进行

校正。

对于特殊反射区的处理流程图如图3。

3 实验结果及结论

根据本文提出的方法,我们进行了实验。图4(a)为原始图象,其中,激光照射于头发部位无法检测。根据(7)式,从对应的正侧影轮廓估算激光标志线位置,将估算的激光线与图4(a)叠加,结果如图4(b)所示,其中的白线为根据(7)式,从正侧影轮廓估算的激光条纹位置,可以看出结果是相当准确的。图5是对人头部扫描后得到的立体彩色模型。图6和图7是对不同的人的头部扫描的结果。



图4 激光照射于弱反射区及其位置估计



图5 对人头部扫描的结果



图6 图7

从实验结果看出,本文提出的方案是成功的。由于引入了多方法集成、融合的思想,利用了结构光方法和从轮廓恢复形状方法各自的优点,克服了单一方法的局限性,部分解决了结构光系统中无法获得弱反射区深度信息的问题。能相当准确地获得头发等弱反射区的形状。实验结构是令人满意的。

需要指出的是,由于应用的需求特点,对于头发部分的形状精度要求不高,本文给出的均是简化的近似公式。而且本文只讨论了在形状上满足凸性,

可视性,连续性的弱反射区的处理问题,实际上结合文献[5]的工作,对于一些不满足上述条件的区域,也可以应用本文的思路进行处理。

参考文献

- 1 Jarvis R A. Aperspective on range finding techniques for computer vision. IEEE Trans PAMI, 1983, 5(2): 122 ~ 139.
- 2 巴拉德 D H, 布朗 C M. 计算机视觉. 王东泉, 等译, 北京: 科学出版社, 1987.
- 3 Vannier M W, Pilgram T, Bhatia G, et al. Facial surface scanner. IEEE Computer Graphics & Applications, 1991, 72 ~ 80.
- 4 吴成柯, 陆心如, 王林. 结构光三维信息获取系统. 模式识别与人工智能, 1989, 12(2): 37 ~ 42.
- 5 Rioux M, Bird T. White laser, syncoed scan. IEEE computer graphics & applications, 1993, 15 ~ 17.
- 6 Jiang Yu Zhang. Acquiring 3-D models from sequences of contours. IEEE Trans PAMI, 1994, 16(2): 163 ~ 178.
- 7 孙龙祥, 程义民, 王以孝, 孙启彬. 深度图象分析. 电子工业出版社, 1996.
- 8 Wang Y F, Cheng D I. Three-dimensional shape construction and recognition by fusing intensity and structured lighting. Pattern Recognition, 1992, 25(12): 1411 ~ 1425.
- 9 金 刚. 三维激光彩色扫描仪中空间及色彩信息的获取: [学位论文]. 武汉: 华中理工大学, 1997.
- 10 金 刚, 叶建辉, 唐立军, 李德华. 一种用于三维激光扫描扫描仪的结构光测距方法和装置定标. 见: 第八届全国图形图象会议论文集, 1996, 660 ~ 663.

金 刚 1992 年毕业于华中理工大学电力系。1997 获华中理工大学图象所硕士学位, 现为华中理工大学图象所博士研究生。主要研究方向为计算机视觉, 图象处理, 人工智能, 三维信息获取技术。



李德华 华中理工大学图象所教授, 博士生导师, 爱丁堡大学高级访问学者, 攀登计划专家委员。主要研究方向为人工智能, 思维科学, 计算机视觉。发表论文 60 余篇。



李泽宇 1997 年毕业于华中理工大学固电系, 现为华中理工大学图象所硕士研究生。主要研究方向为计算机视觉, 图象处理, 软件工程, 人工智能。

Acquiring Depth Information of Object's Low Reflectance Surface in Three Dimensional Laser Color Scanner

Jin Gang, Li Dehua and Lizeyu

(Institute for Pattern Recognition and Artificial Intelligence, State Education Commission Laboratory for Image Processing and Intelligent Control, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

Abstract In the computer vision system based on structured light, it's difficult to get good result from area where the surface reflectance is low. This paper studied the relationship between the image in different position in three dimensional laser color scanner. A scheme is presented which fuses the contour and structured light information to acquire depth information in some special reflection areas. Some good results have been obtained.

Keywords Computer vision, Acquiring depth information, Structured light, Information fusion