

基于镜面折反射全景成像的三维重建方法研究^①

郭伟青^② 汤一平^③ 夏少杰 韩国栋 胡克钢

(浙江工业大学之江学院 杭州 310024)

(浙江工业大学信息工程学院 杭州 310023)

摘要 针对基于图像的三维重建过程中成像系统获得的双视点或多视点图像不能一次性完整建模、图像匹配过程中计算复杂度高、标定繁琐的问题,设计了一种基于镜面折反射全景成像技术的单目多视角立体视觉系统及三维建模算法。该方法根据立体视觉传感器获取被测物体表面信息图像,通过阈值分割将图像分割为 5 个基本视图,并建立空间几何约束关系;使用离散的体素来表示被重构物体的几何信息,采用光一致性约束进行物体表面点的判断;通过轮廓体素遍历获取物体三维模型。该方法能一次性获得物体不同视角全方位图像信息,根据空间几何约束、纹理颜色约束及物体曲线约束,快速重构出物体的三维几何模型。该方法降低了匹配计算的复杂度和硬件使用成本,其有效性已在实际系统中得到了验证。

关键词 镜面成像, 全景视觉, 三维建模, 体素遍历, 光一致性

0 引言

镜面折反射成像(catadioptric imaging)技术因其在获取被测场景或目标物体三维立体信息中具有同步性、实时性及低成本性而被许多研究者所关注,已成为计算机图形学、计算机视觉、计算机集成与制造技术研究的热点。该技术已广泛应用于智能交通、工业设计、安防、隧道交通检测、医学等领域。基于图像的静态三维重建是三维重建技术研究的重要内容。通用的双视点或多视点下的三维重建技术是从两个或多个视点观察同一景物,获取被重构物体在不同视角下的图像,通过三角测量或四边域的方法将匹配点的视差信息转换为深度信息。该方法的局限性在于不能一次性重建出完整的三维模型,同时图像匹配过程在时间上与精度上有较大损耗^[1]。

在镜面折反射成像系统中,平面镜成像具有透视投影属性,基于光路射线展开过程应用于三维场

景可得到虚拟三维空间,平面镜成像使得复杂的射线交互可以用一种虚拟的方式可视化,且坐标系统的变化容易跟踪^[2]。单平面镜成像系统均是单反射,用于在单次成像中产生两个视点,该特点常被用于制造双屏拍摄中低成本的立体浏览器^[3]。Gluckman 和 Nayar 设计了一种矫正折反射传感器,它使用平面镜产生矫正立体成像,避免了图像匹配的计算繁杂和由于重采样导致成像减弱^[4]。Mitsumoto 等使用单平面镜成像系统,通过对物体三角化处理和确定几何约束关系进行三维重构,按序移动镜子到不同的位置,通过合并重构获得物体表面形状^[5]。移动平面镜也可以方便地产生多个视点,如用于光场成像^[6]或 3D 重构^[7]。文献[7]使用单平面镜获取附加视图用于多视图重构。根据镜面上物体点计算镜面与相机间距离,并对物体视图做双重标定,此方法适用于特定的成像几何体的三维重构。多平面镜单反射系统常用于单传感器的光场成

^① 国家自然科学基金(61070134)资助项目。

^② 女,1971 年生,博士生,副教授;研究方向:计算机视觉,计算机图形学;E-mail: guowq@zjut.edu.cn

^③ 通讯作者,E-mail: typ@zjut.edu.cn

(收稿日期:2014-11-18)

像^[8,9]。因为光场视图彼此间的差别很小,平面镜队列可以通过合适的布局,避免相互反射。各视图通常可以覆盖一个共同的视野范围,构成多镜面成像系统,镜面队列可以用于模拟带有域定义属性^[10]的双向反射分布函数(BRDF),该分布函数用于表示被重构物体表面的反射属性。以物为中心的单目多视角全景成像装置用于物体的三维检测^[11],通过摄像机投影平面直接获取多个不同视角拍摄的物体表面图像,用于实时完成物体的三维检测。

本研究基于单目多视角立体视觉传感器,采用轮廓体素遍历算法重构出物体三维模型。在产生虚拟视图和图像操作的纯光学方式中,将多个平面镜按序放置,以提高成像灵活性,且满足单次反射的约束条件。通过镜面折反射全景成像技术一次性获取物体表面信息,利用各视图之间的空间几何约束关系、纹理颜色约束及物体曲线约束,快速实现被测物体的静态三维重建。这种方法克服了双视点或多视点成像中摄像机的内外参数和颜色系统很难保持一致的问题,降低了图像匹配的复杂度和硬件使用成本。该方法的有效性通过实际系统得到了验证。

1 单目多视角立体视觉装置的设计

为了一次性获得被测物体不同视角方向的基本视图,本研究设计了由1台高清CMOS摄像机和4枚平面镜构成的单目多视角立体视觉装置,通过一次成像就能获得被测物体的俯视图、正视图、左视图、后视图以及右视图。图1为单目多视角立体视

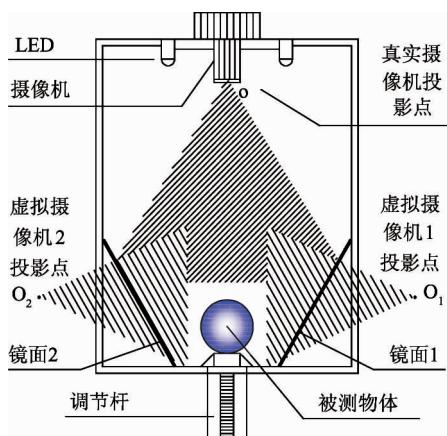


图1 单目多视角立体视觉传感器的设计原理图

觉系统的原理图。

该系统主要由摄像机和平面镜斗型腔组成。斗型腔由尺寸相同的等腰梯形平面镜组成,呈上大下小,镜面朝向腔体内侧。同时,腔体的中轴线重合于摄像机的主光轴,如图2所示。

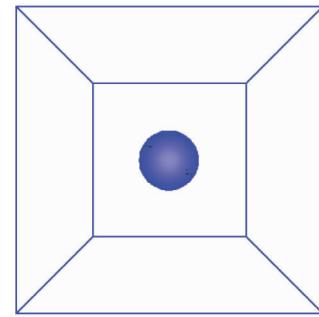


图2 斗型镜腔4枚平面镜空间示意图

系统中高清摄像机放置于平面镜腔的正上方,镜头的入射光线由腔体内的直射光线和镜面反射光线组成。其中,通过腔体的直射光线投射在摄像机成像平面的中央区域,通过镜面反射的光线投射在摄像机平面的周边区域。根据镜面的折反射原理可以得到被重构物体多个视角的影像。上述单目多视角立体视觉传感器中共有5个不同的透视投影点,包括真实摄像机的一个透视投影点以及平面镜4个虚拟摄像机的透视投影点,成像的图像分别对应于俯视图、正视图、左视图、后视图以及右视图。因此,从成像的效果来说,本研究设计的单目多视角立体视觉传感器相当于配置了5台内部参数和颜色系统严格一致的高清摄像机。各个摄像机,包括真实摄像机和4个虚拟摄像机,它们坐标系之间的空间位置保持固定不变,并且两两之间成90°关系。

2 基于体素的三维重建实现原理

本文采用5幅基本视图(即俯视图、主视图、左视图、后视图以及右视图)之间的空间几何约束关系以及颜色信息来实现一种快速的三维重建。

2.1 图像预处理

将单目多视角立体视觉传感器一次性获取的被测物体5个不同视角的基本视图按不同视角区域进

行分割,通过旋转与比例缩放使其满足“长对正,高平齐,宽相等”的几何约束,再通过前景检测来确定物体表面点与非物体表面点。本文采用 Ostu 算法实现被测物体的前景提取。

为使三维外形估算更为简便,需要提取出每个视角图像中物体的轮廓信息。因此,对经过 Ostu 算法分割后的图像,进一步采用八联通算法提取出各个视角前景对象的边缘轮廓信息。

2.2 三维点云获取原理

被重构物体表面所有物点带有色彩信息的点云数据用高斯球面坐标表达为 $(\theta, \gamma, \rho, r, g, b)$,高斯球面坐标系的原点设置在 5 个视角摄像机的光轴线的交点处,记为 O ,世界坐标系的 Z 轴与拍摄俯视图的摄像机的光轴重合, X 轴和 Y 轴与拍摄正视图与侧视图的摄像机的光轴重合;某物点 S 在世界坐标系的空间坐标为 (x, y, z) , S 点到坐标原点 O 的距离为 ρ , S 点到坐标原点 O 的连线与 Z 轴之间的夹角为入射角 γ , S 点到坐标原点 O 的连线在 XY 平面上的投影线与 X 轴之间的夹角为方位角 θ (如图 3 所示), r, g, b 分别为物点 S 在 r, g, b 颜色空间上的分量值。

根据上述定义,在第一象限设被重构物体表面某一物点 S 的空间坐标为 (x, y, z) ,如图 3 所示。那么空间点 S 在 XOY 平面上的投影点 S_1 是俯视图

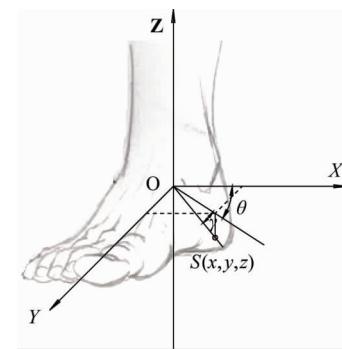


图 3 被重构物体在世界坐标系中的位置示意图

中的坐标点 (x, y) ;在 XOZ 平面上的投影点 S_2 是正视图中的坐标点 (x, z) ;在 YOZ 平面上的投影点 S_3 是侧视图中的坐标点 (y, z) 。根据上述约束条件,通过高斯球面坐标遍历法,以入射角 γ 、方位角 θ 和距离 ρ 为变量遍历整个被重构物体的表面,以获得被重构物体表面各物点的点云数据。

在对被重构物体表面遍历过程中,首先要建立高斯坐标系,坐标系的原点设定在 5 个摄像机的光轴线的交点处,主视图和后视图中为 XOZ 平面,左视图和右视图中为 YOZ 平面,俯视图中为 XOY 平面,以 XOZ 平面和 YOZ 平面为切割面将被重构物体切分为四个部分,即以方位角 θ 相隔 $\pi/2$ 进行切分;进行这样切分后得到在不同方位角 θ 情况下遍历视图的范围,如表 1 所示。

表 1 方位角 θ 的范围与遍历的视图范围的关系

方位角 θ 的范围	$0 \sim \pi/2$	$\pi/2 \sim \pi$	$\pi \sim 3\pi/2$	$3\pi/2 \sim 2\pi$
遍历的视图范围	主视图右边和左视图 左边(参考俯视图中 的第一象限)	主视图左边和右视图 右边(参考俯视图中 的第二象限)	右视图左边和后视图 右边(参考俯视图中 的第三象限)	后视图左边和左视图 右边(参考俯视图中 的第四象限)

在各视图上被重构物体表面的信息可直接通过边缘检测算法得到,如方位角 θ 在 $0, \pi/2, \pi$ 和 $3\pi/2$ 特殊情况下能直接计算得到被重构物体的表面边缘信息,但是在除上述角度之外的情况下无法直接获得某一方位角情况下的表面信息,这就需要在遍历整个被重构物体的表面过程中实现一个非特殊情况下查找表面体素的算法。

本文使用离散的体素来表示被重构物体的几何信息,通过对方位角 θ 和入射角 γ 均匀切割使得整

个被重构物体被均匀地剖分为一系列的小立方体空间,根据长对正、高平齐、宽相等的原则限定被重构物体表面体素的二维几何范围,再估算出在某入射角 γ 和某方位角 θ 情况下的最长。

估算距离 ρ_{\max} 和最短估算距离 ρ_{\min} 这样就形成一个可视化外壳法的小立方体空间,本文将其称为最小包络。最小包络的大小为 $\Delta\gamma \times \Delta\theta \times (\rho_{\max} - \rho_{\min})$ 。

为确定在最长估算距离 ρ_{\max} 和最短估算距离

ρ_{\min} 之间的被重建物体表面穿过的体素,需对 $(\rho_{\min}, \rho_{\max})$ 范围内的物体表面穿过的体素进行检测。本文采用空间雕刻算法光一致性约束参数对被测被物体表面体素进行判定^[12,13],光一致性约束条件为:若一个体素属于被重构物体表面,则该体素在所有对其可见图像投影内的像素的亮度值应是相同的。

光一致性通过比较体素投影像素集的亮度值方差和阈值来进行判断,设 $Pro(v)$ 为体素 v 反投影在 K 幅相关视图上的像素集, $Con(v)$ 为 $Pro(v)$ 的光一致性函数, λ 为给定的阈值;设 v 在视图 m 上投影像素的亮度值表示为 $L_m, m \in \{1, 2, \dots, K\}$; 亮度值方差用公式

$$\begin{cases} \sigma_L^2 = \frac{1}{K-1} \left(\sum_{m=1}^K L_m^2 - \frac{1}{K} \left(\sum_{m=1}^K L_m \right)^2 \right) \\ \sigma = \sqrt{\sigma_L^2} \end{cases} \quad (1)$$

进行计算。用公式

$$Con(v) = \sigma - \lambda \quad (2)$$

计算体素 v 的光一致性。

如果 $Con(v) < 0$, 则判断为投影像素集满足光一致性,该体素为被重构物体表面体素。

2.3 基于体素的三维重建流程

2.3.1 图像预处理流程

步骤 1: 图像的分割。将一幅包含了被重建物体不同视角轮廓的大图片按不同阈值分割成 5 幅小图片,得到物体的 5 个不同视角的视图。分割调用 Ostu 算法实现。

步骤 2: 归一化处理。以俯视图为基准,根据“长对正,高平齐,宽相等”原则,保证左视图与右视图的长与俯视图相同,前视图与后视图的宽与俯视图相同。调用归一化处理函数对左右视图进行归一化处理,该函数首先调用长度计算函数得到俯视图和左右视图的长,计算出比例后再调用图像的等比例缩放函数对左右视图进行等比例缩放;同理对前后视图进行归一化处理。

步骤 3: 二值化处理。采用单一阈值法,通过人机交互设定阈值,根据阈值对图像进行二值化处理,调用函数,分别将 $r g b$ 图像转化成灰度图像和将灰度图像转化成二值图像。为了应对可能出现的噪点和填充内部空点,需要对图像进行中值滤波和腐蚀

膨胀操作,分别调用中值滤波和腐蚀膨胀操作函数来实现。二值化处理后得到的图像即为前景图,用于区分物体表面点和非表面点。

2.3.2 三维点云获取流程

根据三维点云获取的原理,遍历算法的具体步骤如下:

步骤 1: 建立高斯坐标系,用表 1 所示的方法对被重构物体进行切分。

步骤 2: 对入射角 γ 、方位角 θ 进行初始化;设置初始方位角 $\theta = 0$; 初始入射角 $\gamma = -\pi/2$, $\Delta\theta = 1$ 、 $\Delta\gamma = 1$ 。

步骤 3: 根据方位角 θ 用表 1 确定遍历的视图范围。

步骤 4: 用公式

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= \sqrt{x_e^2 + y_e^2 + z_e^2} \\ \rho_{\min} &= \min(\sqrt{x_e^2 + y_e^2}, \sqrt{x_e^2 + z_e^2}, \sqrt{y_e^2 + z_e^2}) \end{aligned} \quad (3)$$

$$(4)$$

分别估算出在某入射角 γ 和某方位角 θ 情况下的最长估算距离 ρ_{\max} 和最短估算距离 ρ_{\min} , 得到被重构物体表面体素的包络 $\Delta\gamma \times \Delta\theta \times (\rho_{\max} - \rho_{\min})$ 。式中, x_e, y_e, z_e 是由表 1 确定的遍历视图范围中的图像在遍历值入射角 γ 和方位角 θ 情况下的边缘点坐标值。

步骤 5: 从最短估算距离 ρ_{\min} 开始遍历查找被重构物体表面体素 v_e , 被重构物体表面体素 v_e 的判断方式由式(2)进行光一致性检测,若通过光一致性检测,保存该点的方位角,入射角以及该点到坐标原点的距离值,记为 (θ, γ, ρ) ; 若遍历过程中包络内所有体素都没有满足式(2)的光一致性约束,则将式(2)中计算的最小值作为被重构物体表面体素 v_e 候补,并且保存该点的 (θ, γ, ρ) 。

步骤 6: 用公式

$$\begin{cases} x = \rho \times \cos\theta \times \cos\gamma \\ y = \rho \times \sin\theta \times \cos\gamma \\ z = \rho \times \sin\gamma \end{cases} \quad (5)$$

计算在步骤 5 中保存点的 (x, y, z) 值。根据计算得到的 (x, y, z) 值寻找对应视图中该点的 $r g b$ 值并保存,保存的点云数据格式为 $(x, y, z, \overline{rgb})$ 。

步骤 7: 计算 $\gamma \leftarrow \gamma + \Delta\gamma$, 判断 $\gamma > \pi/2$, 如果满

足,则跳转到步骤 4。

步骤 8:计算 $\theta \leftarrow \theta + \Delta\theta$, 判断 $\theta < 2\pi$, 如果满足, $\theta = -\pi/2$; 跳转到步骤 3。

步骤 9:结束。

通过上述遍历算法可获得被测物体所有表面点的空间坐标信息及相应的颜色信息,采用相应的三维显示技术即能得到被测物体的三维模型。

3 试验研究

为了验证所设计的三维重建算法的重建效果,采用脚型实物模型进行了试验测试。

3.1 阈值选取试验

光一致性约束规定了不同视角图像在同一个空间物点的亮度值是一致的。在实际中由于光照,拍摄角度的不同,其亮度会存在偏差。我们选取了穿上黑白格子袜子的脚模进行试验,图 4 所示为预处理后获取的 5 张不同视角的视图。



图 4 预处理后获取的 5 张不同视角的视图

在查找脚模表面三维体素时,如果两个视图中得到的都为白色格子中的点或者都是黑色格子中的点就认为该点符合光一致性原则。这就涉及到如何选取合适的阈值来判定两个点是否属于同一类别,对 5 个视图拍摄的图像分别计算黑色格子与白色格子的亮度均值,试验结果如表 2 所示。

表 2 显示脚模表面的黑色格子区域与白色格子区域的灰度值差均大于 100,因此利用光一致性进行表面体素查找时可将所遍历体素在不同视图中投影点的灰度值方差阈值设置在 10000 以内,即两点的亮度值差在 100 以内。

表 2 黑白格子的亮度均值对比表

视图	亮度均值 (黑色格子)	亮度均值 (白色格子)
俯视图	22	168
主视图	24	161
左视图	30	190
后视图	27	177
右视图	28	183

3.2 光一致性分析试验

根据“高平齐”原则,同一个三维点在两个视角的图像上投影高度相同,选取某一高度主视图与右视图均可见的像素点进行分析。根据两个视图中同一高度像素点个数,灰度分布来进行匹配。

根据所建立的三维坐标系,在图 5 中两个箭头所穿过的像素是脚模表面的共同区域;首先统计不同视图像素点个数与直方图分布。经统计,在主视图中该高度区域共有 82 个像素点,对应的右视图中有 273 个像素点,两个视图中像素点的灰度分布如图 6 和图 7 所示。根据两个视图中灰度分布进行光一致性匹配判断。

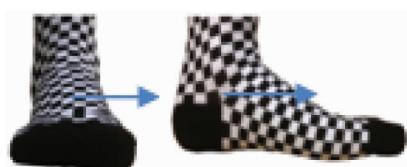


图 5 不同视图中同一高度像素区域图

根据两个视图在同一高度的灰度值分布,依据原始图像(图 5),可看出在同一高度区域,主视图中穿过了 4 个黑色格子与 4 个白色格子,而右视图中穿过了 6 个黑色格子与 7 个白色格子,即右视图中存在主视图中无法看到的区域,根据这一现象,观察不同高度下两个视图中的纹理分布,均存在不同程度的遮挡。因此在利用光一致性准则时部分区域无法根据两个视图中同一点的颜色信息来寻找表面点。

根据试验分析,造成重构效果不理想的主要原因是遮挡导致了光一致性准则在部分区域失效。存在遮挡的区域主要有:(1)脚弓。由于前脚掌通常

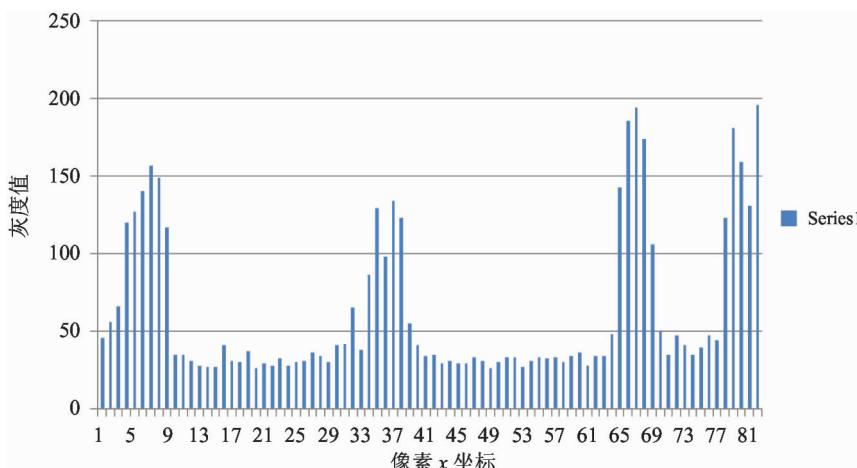


图 6 主视图灰度分布图

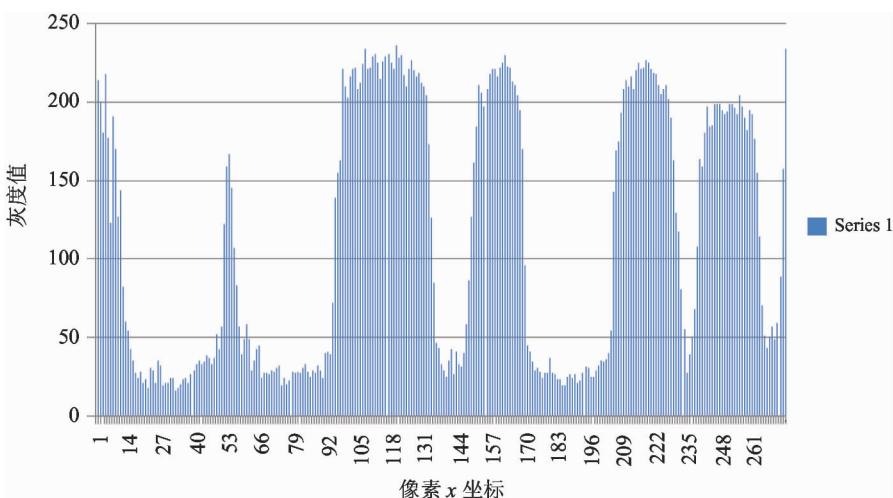


图 7 右视图灰度分布图

较宽,脚弓区域又属于凹陷区域,因此在主视图中无法看见位于脚掌后面的脚弓区域;(2)脚趾。由于脚的大拇指通常较大,因此在右视图中通常只能拍摄到大拇指区域,而后面的中指无名指等只能在左视图中看到,而根据坐标系的位置,这部分区域又只能在右视图与主视图中进行光一致性判别,因此导致光一致性准则失效。造成三维体素查找不到准确的另一个原因是坐标系的建立问题。对于一些中心对称的规则物体,坐标原点可以选择物体的中心位置,因为 5 个基本视图的中心点位于同一点,即坐标原点;而对于类似于脚的不规则物体,各视图的中心点并非落在脚的中心位置。需要根据 5 个视图的表面纹理特征来确定坐标原点的位置。

3.3 改进试验

由于上述试验中存在的遮挡问题,导致部分区域光一致性判断失效,同时不规则物体存在中心点位置偏移,使得重构得到的图形出现失真,可以通过增加曲线约束,对已得到的物体表面准确点拟合曲面来消除重构中出现的失真。步骤如下:

步骤 1:首先根据视觉外壳可知,在方位角为 0 、 $\pi/2$ 、 π 和 $3\pi/2$ 时的表面点都是准确的,如图 8 的 A 、 B 、 C 、 D 4 个点所示,对每一个切面,分别计算 OA 、 OB 、 OC 、 OD 的距离。

步骤 2:在第一象限,切面上的表面体素按椭圆弧分布,椭圆方程满足

$$\frac{x^2}{OA^2} + \frac{y^2}{OB^2} = 1 \quad (6)$$

依此类推,第二象限的点满足方程

$$\frac{x^2}{OC^2} + \frac{y^2}{OB^2} = 1 \quad (7)$$

第三象限的点满足方程

$$\frac{x^2}{OC^2} + \frac{y^2}{OD^2} = 1 \quad (8)$$

第四象限的点满足方程

$$\frac{x^2}{OA^2} + \frac{y^2}{OD^2} = 1 \quad (9)$$

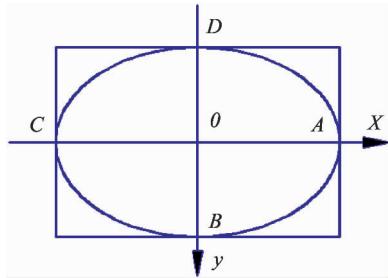


图 8 物体某切面俯视示意图

步骤 3: 根据上述规则, 对每个方位角都计算出相应的圆弧方程, 然后利用该圆弧来拟合该方位角下的表面体素。改进后的试验效果如下图 9 所示。



图 9 曲线拟合获取的三维重构图

改进后的重构效果与之前相比, 脚后跟区域以及脚背区域的棱角得到了明显消除, 且经过曲面拟合有效改善了一些颜色失真的区域, 因光线视差以及成像数量的限制, 脚前方部分区域颜色失真依然存在。可以通过增加镜面数(即增加虚拟视点)获取更多的物体表面信息, 来改善重构的效果。

在脚型的三维重构中, 文献[14]采用了立体视觉及稀疏特征匹配, 通过 10 台摄像机拍摄穿着带有标记点图案袜子的脚型, 从拍摄的图像中提取标记点进行立体匹配。根据图像的几何关系获取标记点的三维坐标, 通过曲面拟合得到三维脚型, 该静态脚型重构过程较为复杂, 需要较多的人工干预, 且多视点视图特征点匹配计算繁琐。文献[15]采用脚型三维扫描仪, 同时配制数控仿型测量轮来获取脚型

数据, 通过参数曲面插值得到脚型三维模型, 三维扫描仪重量、体积均较大, 无法广泛普及使用, 且硬件成本较高。本文采用单台摄像机一次性获取物体全方位视图, 根据空间几何约束、纹理颜色约束及物体曲线约束, 快速重构出物体的三维几何模型, 与文献[14,15]相比, 降低了匹配计算的复杂度和硬件使用成本。

4 结 论

本文设计了一种基于镜面折反射全景成像技术的单目多视角立体视觉系统及三维建模算法。立体视觉传感器在获取虚拟视图的纯光学方式中, 各镜面产生单次反射, 一次性得到物体全方位成像, 具有较好的同步性。通过阈值分割将全景图像分割为 5 个基本视图, 并根据长对正、高平齐、宽相等的原则建立了空间几何约束关系, 减少了匹配计算的复杂度。按照光一致性准则, 比较体素投影像素集的亮度值方差和阈值来判断表面点, 采用轮廓体素遍历获取物体三维模型。为验证所设计的重构算法的效果, 本文进行了阈值选取试验、光一致性分析试验, 并采用脚型实物模型进行了试验测试, 取得了较好效果。

今后的研究工作主要有以下几个方面:(1)针对现有重建技术中所出现侧影颜色失真等问题进行相应的优化, 改善重建质量;(2)引入查找表面点的其他准则函数, 避免由于物体表面亮度不一致所带来的误差;(3)为避免一些不可见区域数据的丢失, 考虑通过增加镜面数, 即增加虚拟视点, 以获取更多的物体表面信息, 来改善重构的视觉效果, 提高重构的精确度。

参 考 文 献

- [1] 汤一平. 物联网感知技术与应用. 北京: 电子工业出版社, 2015
- [2] Reshetouski I, Ihrke I. Mirrors in Computer Graphics, Computer Vision and Time-of-Flight Imaging. Time-of-Flight and Depth Imaging. Sensors, Algorithms, and Applications. Springer Berlin Heidelberg, 2013. 77-104
- [3] Wu H H P, Chang S H. Design of stereoscopic viewing

- system based on a compact mirror and dual monitor. *Optical Engineering*, 2010, 49(2) : 027401-027401-6
- [4] Gluckman J, Nayar S K. Rectified catadioptric stereo sensors. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, 24(2) : 224-236
- [5] Mitsumoto H, Tamura S, Okazaki K, et al. 3-D reconstruction using mirror images based on a plane symmetry recovering method. *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, 1992, (9) : 941-946
- [6] Ihrke I, Stich T, Gottschlich H, et al. Fast incident light field acquisition and rendering. *WSCG*, 2008, 16(1-3) : 25-32
- [7] Hu B. It's all done with mirrors: calibration-and-correspondence-free 3D reconstruction. In: Proceedings of the IEEE Canadian Conference on Computer and Robot Vision, Kelowna, Canada, 2009. 148-154
- [8] Levoy M, Chen B, Vaish V, et al. Synthetic aperture confocal imaging. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 2004, 23(3) : 825-834
- [9] Mukaigawa Y, Tagawa S, Kim J, et al. Hemispherical confocal imaging using turtleback reflector. *Computer Vi-*
- sion-ACCV 2010, LNCS, Vol6492 : 336-349
- [10] Weyrich T, Peers P, Matusik W, et al. Fabricating microgeometry for custom surface reflectance. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 2009, 28(3) : 32
- [11] 汤一平, 夏少杰, 冯亦军等. 基于单目多视角机器视觉的珍珠在线分类装置. *农业机械学报*, 2014, 45(1), 288-292
- [12] Kutulakos K N, Seitz S M. A theory of shape by space carving. *International Journal of Computer Vision*, 2000, 38(3) : 199-218
- [13] Seitz S M, Curless B, Diebel J, et al. A comparison and evaluation of multi-view stereo reconstruction algorithms. In: Proceedings of the 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer vision and pattern recognition, New York, USA, 2006, 1 : 519-528
- [14] 高飞. 基于多视几何的三维脚型测量技术与系统:[博士论文]. 杭州: 浙江大学计算机学院, 2010
- [15] 史辉. 基于脚型三维形貌的自动化鞋楦定制关键技术研究:[博士论文]. 北京: 清华大学机械工程学院, 2009

Research on 3D reconstruction based on catadioptric panorama imaging

Guo Weiqing, Tang Yiping, Xia Shaojie, Han Guodong, Hu Kegang

(Zhejiang University of Technology, Zhijiang College, Hangzhou 310024)

(Zhejiang University of Technology, Information Engineering College, Hangzhou 310023)

Abstract

In consideration of the problems of image-based 3D reconstruction that the imaging system-acquired dual-view or multi-view images can not be completely modeled for one time during reconstruction, and the computational complexity is high in image matching with the complicated calibration, a monocular multi-view stereo vision system and a 3D modeling method were designed based on the catadioptric panoramic imaging technique. The method uses a stereo visual sensor to obtain the panorama image of an object, divides the image into five basic views by threshold segmentation, and constructs the constraints of space geometry; Then, it uses discrete voxels to express the geometric information of the object, and judges the surface points of the object according to the optical consistency principle; Lastly, it uses the traversing method based on contour voxels to get the 3D modeling of the object. This method can get the omni-directional image data from different perspectives for one time, and uses the constraints of space geometry, texture color and object curves to reconstruct the 3D model of the object. This method can reduce the computational complexity and the hardware cost, and its effectiveness was verified by a practical system.

Key words: mirror imaging, panoramic vision, 3D modeling, voxel traversal, optical consistency