

一种圆柱物体360°全景成像装置设计方法

吴晓军^{1,2} 郭亚雪¹

¹哈尔滨工业大学深圳研究生院, 广东 深圳 518055

²深圳先进运动控制技术与现代自动化装备重点实验室, 广东 深圳 518055

摘要 针对圆柱物体的外观视觉检测设计了一种360°全景成像装置,通过单视点约束计算确定镜面形状,根据相机景深、分辨率、视场角等约束条件设计了镜面参数,对于特定圆柱体尺寸,获得满足相机景深的约束,系统分辨率达到相机原分辨率80%以上的最优镜面参数。利用光学设计软件对全景成像装置进行仿真,根据光学成像质量评价标准,通过对比确定全景成像装置最优方案。利用基于标定的系统化方法展开全景图像,获得透视投影全景图。设计的全景成像装置结构简单、成本低、成像质量高、畸变小,克服了传统的圆柱物体侧面360°成像硬件装置复杂、价格昂贵的缺点,为机器视觉提供了一种柱状物体侧面360°度全景成像的装置和镜面设计方法。

关键词 光学器件;全景成像;圆柱物体;单视点约束

中图分类号 TP23

文献标识码 A

doi: 10.3788/AOS201535.0923002

An 360° Panoramic Imaging Design Method for Cylindrical Object

Wu Xiaojun^{1,2} Guo Yaxue¹

¹Shenzhen Graduate School, Harbin Institute of Technology, Shenzhen, Guangdong 518055, China

²Shenzhen Key Laboratory for Advanced Motion Control and Modern Automation Equipment, Shenzhen, Guangdong 518055, China

Abstract A new 360° panoramic imaging device is designed for cylindrical object inspection application. Through single viewpoint constraint, the shape of the reflective mirror is determined. According to the depth of field, resolution, field of view, etc. the parameters of the mirror are calculated. For a particular cylinder size, the optimum mirror satisfies the camera depth of field constraints and the system resolution reaches 80% of the original camera resolution. The device is simulated by optical design software to determine the optimal parameters according to the evaluation criterion of image quality. The captured image from the proposed device is unwrapped through a systematic calibration method to obtain the perspective projection panoramas. The designed reflectance mirror is simple, low cost, low distortion and high imaging quality. The proposed 360° panoramic imaging mirror design method and corresponding device overcomes the traditional cylindrical object imaging hardware equipment complex, expensive shortcomings, and provides a design method for machine vision.

Key words optical devices; panoramic imaging; cylindrical object; single viewpoint constraint

OCIS codes 230.1150; 080.2740; 080.4035; 150.0155

1 引言

目前随着劳动力成本的提高,基于机器视觉的产品外观检测在自动化生产线中得到了越来越多的应用。然而对于圆柱型产品的成像是非常困难的,单独一台相机的视场有局限性,不能满足一次成像的要求。目前已经有的多种全景成像技术,通过增大拍摄系统的视场角、提高拍摄覆盖范围、减少盲点等方式,

收稿日期: 2015-01-28; 收到修改稿日期: 2015-04-17

基金项目: 广东省部产学研项目(2012B091000020)、深圳市科技计划项目(CXB201105100073A, CYZZ20140829101945535, JCYJ20140417172417166)

作者简介: 吴晓军(1975—),男,博士,副教授,主要从事机器视觉算法与系统、图像三维建模等方面的研究,

E-mail: wuxj@hitsz.edu.cn

可以对圆柱体产品侧面进行成像和检测。

圆柱物体的 360°全景成像需要使用特别设计的成像装置,使得视场角在垂直方向上为 360°,或者在水平方向上大于 180°^[1-3]。使用单个相机沿光轴旋转(或让物体旋转)拍摄连续的多幅图像并进行拼接合成全景图,这种方式效率较低。Ishiguro 等^[4]提出了从单个相机拍摄的多幅图像通过拼接获得全景图像的方法,满足很高的成像分辨率,但是为了获得成像质量高的全景图像,这种方法对拼接技术提出了更高的要求。同时使用多个相机按一定角度放置,对物体进行同步拍摄,获得的多幅图像拼接后也可以获得全景图,由于使用多个相机,使得系统的成本较高。意大利的 Opto 远心公司提供的环外侧镜头 PCCD 系列,可以直接拍摄圆柱体物体的环外侧和顶面图像,但是成像对象尺寸需要在一定范围内,能够拍摄直径 7.5 mm、高度 5 mm 到直径 35 mm、高度 25 mm 的物体,该镜头需要复杂的光学设计,价格昂贵。

折反射全景成像装置^[5-8]由一个普通相机和镜面组装而成,成本低,应用广。Baker 等^[9-11]获得了满足单视点约束的所有类型的镜面,其中有平面镜、锥面镜、球形镜面、椭圆面反射镜和双曲面反射镜。将镜面与普通相机通过一定的方法组装得到透视投影全景成像系统。对于得到的全景图,Scaramuzza 等^[12]提出了一种新型的全景相机标定技术,图像投影函数可以描述为泰勒级数展开,系数由解两步最小二乘线性问题获得。

本文针对目前对圆柱型物体环外侧全景成像系统存在的不足^[13],提出一种环外侧表面 360°全景成像装置。装置由一个普通相机和椭球体反射镜面组成,一次性对圆柱体侧面进行成像,具有成本低、分辨率高、成像质量好的优点,并且具有较好的实时性,为机器视觉应用提供了一种圆柱物体环外侧表面 360°成像装置系统。

2 镜面形状设计

全景成像系统首先满足的条件是单视点约束,可以保证获得的全景图满足人眼观察习惯,根据 Nayar 等^[10]的折反射全景成像理论,可以计算得到镜面的轨迹方程,解方程可以确定镜面形状可以是平面镜、锥形、球形、双曲线和椭球体。其中,平面镜不能扩大视野;锥形、球形与镜头相对位置摆放正确时只拍到一个点,得不到全景图,摆放位置不正确的情况下可以得到全景图,但是此时不能满足单视点要求;双曲线满足单视点要求,但是拍摄物体时圆柱体是光线发散,得不到全景图;椭球体可以满足所有的条件。选择镜面形状为椭球体,如图 1 所示。椭圆的几何参数方程为

$$\frac{1}{a^2}\left(z - \frac{c}{2}\right)^2 + \frac{r^2}{b^2} = 1, \quad (1)$$

式中 c 是椭圆两个焦点 F_1 和 F_2 间距离,即坐标原点 F_1 到相机中心 F_2 的距离, k 为常数, $a = \sqrt{(2k + c^2)}/4$, $b = \sqrt{k/2}$, $c > 0$, $0 < k < 2$ 。

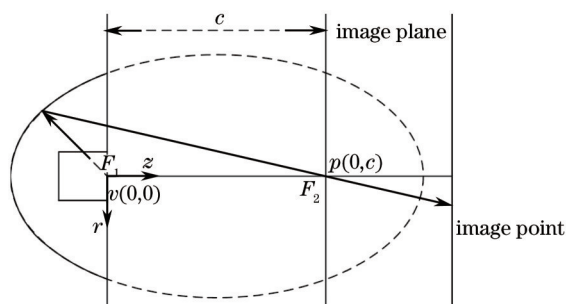


图 1 椭圆反射镜面

Fig.1 Ellipsoidal reflectance mirror

由于被拍对象是圆柱体外表面,镜面形状为椭圆关于长轴即 z 轴旋转得到的立体,因此整个全景成像系统为旋转对称的,从而只研究其过坐标原点的截面即可。在实际情况下,由于像差的存在,无法成理想像,而椭圆镜面的存在只是增大了系统的场曲,整个系统的成像质量更多的是由相机镜头本身决定。

2.1 镜面参数设计约束

通过单视点约束得到镜面参数方程以后,对于任意给定的被拍对象圆柱体尺寸,通过约束条件设计椭圆参数 c 和 k 的值来获得相对应的椭圆镜面的具体尺寸。

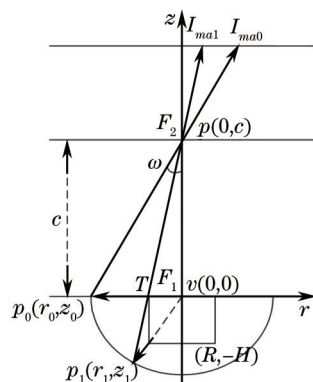


图 2 全景成像模型

Fig.2 Model of panoramic imaging system

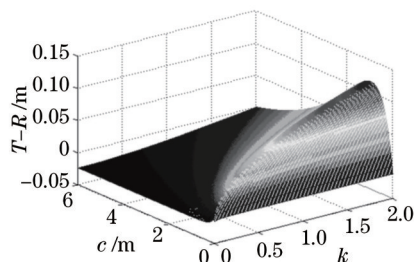


图 3 随着参数 c 和 k 增大, 圆柱体侧面完全成像约束 $T-R$ 变化三维图

Fig.3 3D coordinate figure of change of the constraint parameters $T-R$ for side of cylinder entirely imaging, as increasing with the parameters c and k

2.1.1 圆柱体侧面完全成像约束

首先要求圆柱体侧面完全成像, 圆柱体侧面物点的主光线(反向延长线都经过焦点 F_1)经镜面反射到达相机镜头中心然后成像。由于圆柱体表面最上端的物点的主光线是通过横轴的镜面点 $p_0(r_0, z_0)$ 反射成像为 I_{ma0} , 最下端的物点经镜面点 $p_1(r_1, z_1)$ 反射成像为 I_{ma1} , 圆柱体其他物点通过 $p_1(r_1, z_1)$ 与 $p_0(0, z_0)$ 两点间的镜面反射成像在 I_{ma1} 与 I_{ma0} 之间。圆柱体侧面物点的主光线经镜面点反射的反射光线可能会被圆柱体本身遮挡, 当圆柱体最下端的物点的反射光线不被遮挡时, 由几何关系可知其他反射光线就不会被遮挡。圆柱体侧面最下端的物点的反射光线与圆柱体上底面所在平面的交点距离圆柱体上底面中心的距离为 T , 当 T 大于圆柱体半径 R 时, 反射光线不会被遮挡。所以只要 $|T| \geq R$ 同时 p_0 点到 p_1 点间镜面存在, 可使圆柱体侧面完全成像。根据图 2 中椭圆参数和圆柱体尺寸, 经过几何关系计算得到 $p_1(r_1, z_1)$ 点坐标值为

$$r_1 = \frac{\frac{Hc}{a^2 R} - \frac{2}{Ra} \sqrt{H^2 + R^2}}{2 \left(\frac{H^2}{R^2 a^2} + \frac{1}{b^2} \right)}, \quad z_1 = \frac{H}{R} r_1, \quad (2)$$

从而可以计算出阈值 $T = (c \cdot r_1) / (c - z_1)$ 。

当 $R = 0.025 \text{ m}$, $H = 0.06 \text{ m}$ 时, 随着参数 c 和 k 逐渐增大圆柱体侧面完全成像约束 $T-R$ 变化三维图可以看出, 如图 3 所示, 随着 k 从 0 到 2 变化, c 从 0 到 6 变化过程中, 当 $0.07 < c < 6$ 时, 存在 k 使得 $|T| \geq R$ 成立。在 c 取值一定时, 随着 k 的增大, $T-R$ 的值是逐渐增大的。 k 取值一定时, 随着 c 的增大, $T-R$ 的值先增大, 后减小。

2.1.2 分辨率约束

全景成像系统的分辨率越高, 成像越清晰。普通相机的分辨率是指, 成像面积 dA 与其所对应的立体角 $d\omega$ 之比 $dA/d\omega$, 全景成像系统的分辨率是成像面积 dA 与物点发出光的立体角 $d\alpha$ 之比 $dA/d\alpha$, 如图 4 所示, 全景成像系统的分辨率^[10]为

$$\frac{dA}{d\alpha} = \frac{r^2 + z^2}{(c-z)^2 + r^2} \frac{dA}{d\omega}, \quad (3)$$

可以看出,系统的分辨率是由相机的分辨率和因子 $(r^2 + z^2) / [(c - z)^2 + r^2]$ 共同决定。因子 $(r^2 + z^2) / [(c - z)^2 + r^2]$ 的几何意义是焦点 F_1 到镜面点 p 的距离与镜面点 p 到焦点 F_2 距离的平方之比,如图2所示,当 c 越小时分辨率越高。由椭圆特性可知,分辨率从 p_0 到 p_1 处逐渐减小。

2.1.3 相机景深约束

普通相机的景深通常小于 10 mm,本文要求成像系统景深满足相机景深限制。如图2所示,成像系统景深为 $z_0 - z_1$ 。所要满足的景深要求即成像系统景深小于相机景深。

当镜面参数 c 取值范围是 $[0,6]$, k 的取值范围 $[0,2]$ 时,获得景深取值范围三维图,如图5所示。由图5可知,当 c 一定时,随着 k 的增大,成像系统景深 $(z_0 - z_1)$ 逐渐增加,当 k 一定时,随着 c 的增大,成像系统景深逐渐减小。因此,满足景深条件需要取尽量小的 k 和尽量大的 c 。

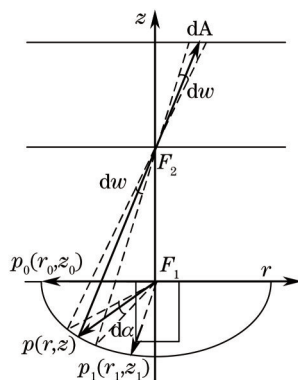


图4 全景成像系统分辨率

Fig.4 Resolution of the panoramic imaging system

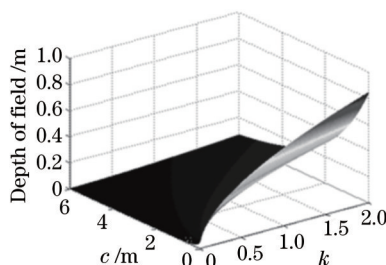


图5 参数 k 和 c 变化时景深的取值范围三维图

Fig.5 3D coordinate figure of the range of depth of field with changing of parameters k and c

2.1.4 普通相机视场角约束

根据视场角(FOV)的大小选择最合适的相机,由图2可知,所需要的视场角最小为 $2\omega = 2 \arctan|r_0| / (c - z_0)$ 。当所拍摄范围的视场角 2ω 过大时,需要用到广角镜头,容易产生径向畸变,当 c 取值越大时,相机视场角越小。

2.2 作图法计算镜面参数

通过以上四个约束条件可知,当参数 c 和参数 k 的值越小时,可以使得系统存在比较大的分辨率和尽量小的景深。假设系统景深为固定值 300 mm,图6(a)表示当 c 逐渐增加至满足所有约束条件时,得到镜面尺寸和分辨率,如图6(b)所示,其右图表示从镜面底端到半径逐渐增加时分辨率逐渐增加。

由于相机景深通常只有 10 mm,若获得分辨率较高的全景图片,系统的景深和视场角会变得很大,对相机要求就会变得很高,对成像模型进行改进。在以上模型中,圆柱体的位置是固定的,但得到的结果却不能使系统的分辨率和景深同时达到最优,因此可以通过改变被拍圆柱体与镜面的相对位置,得到优化的全景成像模型。

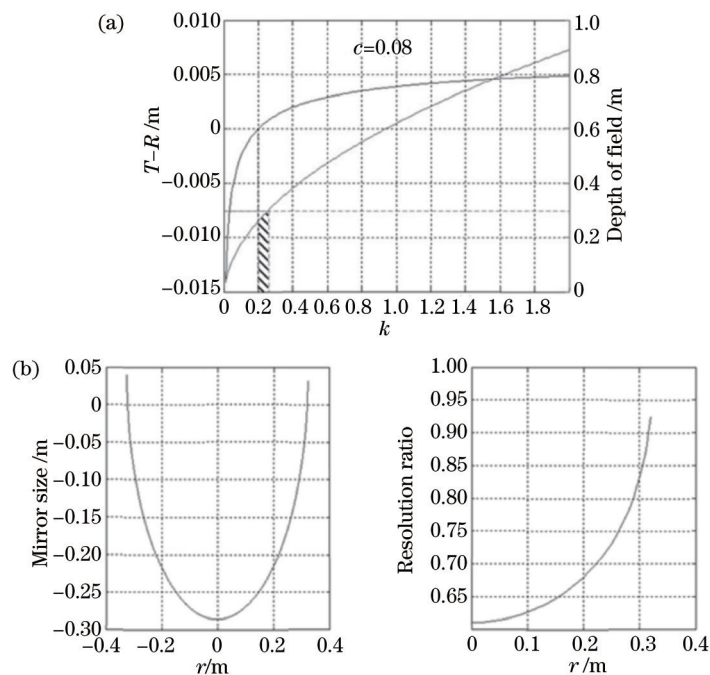


图6 景深为 300 mm 时作图法计算参数和镜面尺寸。(a) 作图法计算得到同时满足完全成像和景深约束的参数 c 和 k ;
(b) 景深为 300 mm 随着半径 r 变化时镜面尺寸与分辨率大小

Fig.6 Calculating the parameters and the mirror size by graphing method when the depth of field is 300 mm.

(a) Calculating c and k with the condition of entirely imaging and the depth field at the same time;

(b) mirror size and resolution with the change of radius r when the depth field is 300mm

当被拍圆柱体沿 z 轴负方向移动时,圆柱体中心轴线仍与 z 轴重合。根据几何关系在镜面一定时,所拍摄范围就会减小,对相机景深和视场角的要求就会大大降低。如图 7 所示,设圆柱体向下移动距离 x ,当 x 取值越大时,在满足其他约束条件的情况下,全景成像系统景深也就越小,系统所需相机的景深也就越小,如图 8 所示,得到所有约束条件的镜面参数 c 和 k ,获得最优系统。此时分辨率约束因子 $(r^2 + z^2) / [(c - z)^2 + r^2]$ 的值经计算最小可达到 0.8,系统的分辨率可以达到相机分辨率的 80% 以上。

得到全景成像系统最优镜面参数方案 v : (单位: mm) $x = 100$, $a = 531.06$, $b = 529.15$, $c = 90$, 只需做椭圆一部分的镜面即可,如图 7 所示, $r_0 = -118.163$, $z_0 = -427.65$, $r_1 = -75.106$, $z_1 = -480.684$ 。对相机要求:景深大于 8.03, 视场角为 23.7207° , 分辨率越大越好。

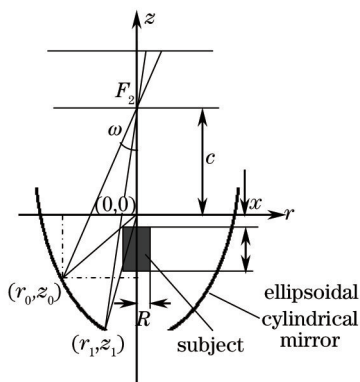


图7 全景成像系统模型

Fig.7 Model of panoramic imaging system

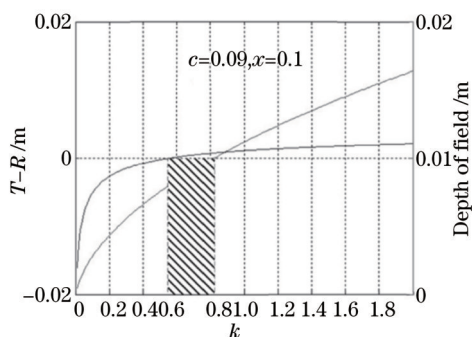


图8 作图法计算圆柱体下移后满足约束的镜面参数 c 和 k
 Fig.8 Graphing method to calculate the parameters c and k with meeting the constraint, after the cylinder moved down

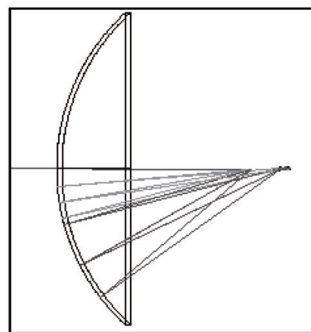


图9 全景成像系统结构图
 Fig.9 Structure of panoramic imaging system

3 基于光学设计软件的仿真分析

利用基于光学设计软件对全景成像系统仿真,获得全景成像装置的几何像差和点列图,对全景成像系统成像进行像质评价。

3.1 最优镜面参数成像质量评价

利用光学设计软件对全景成像系统仿真得到系统结构二维图,如图9所示。在图9中水平轴线是光轴,左边为镜面过光轴的横截面图,右边是相机镜头,绿线和红线为光线,光线经镜面反射然后到达镜头中心。图10表示在相同条件下,不同视场角时全景成像系统的光线特性曲线、点列图、场曲和畸变和横向色差。根据图10(a)的子午垂轴像差曲线和弧矢垂轴像差曲线可以看出,在 0° 视场下初级球差可以忽略,像差曲线基本呈线性,说明系统慧差可以忽略。根据图10(c)中左图场曲曲线图说明系统场曲较大,而且弧矢场曲比子午场曲略大。根据图10(c)中右图畸变图线可知,随着视场角的增大,系统畸变逐渐增加至2.48%。

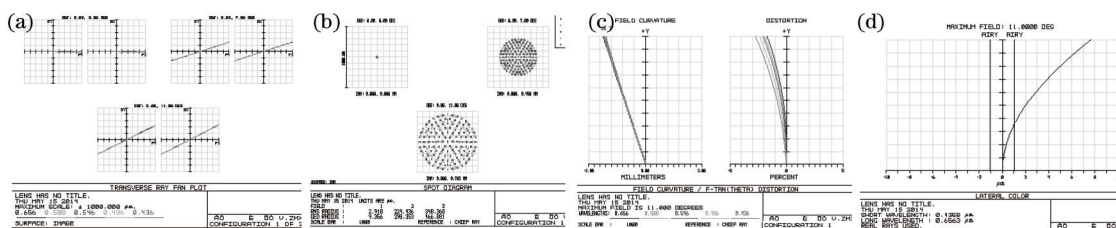


图10 全景成像系统不同视角下的像差曲线。(a) 光线像差曲线; (b) 点列图; (c) 场曲和畸变; (d) 横向色差
 Fig.10 Aberration curve with different angle of views of panoramic imaging system. (a) Ray aberration curve; (b) spot diagrams; (c) field curvature and distortion; (d) lateral color difference

由图10(a)可知,子午和弧矢光线特性曲线中色差在垂轴方向分量很小,说明系统子午垂轴色差和弧矢垂轴色差都很小。由图10(d)可以看出,系统的轴向色差随着视场角的增大逐渐增大。由图10(b)可知,随着视场角的增大,系统的点列图均方根误差(RMS)半径逐渐增大,说明物点成像时像点的弥散斑逐渐增大。

总之,全景成像系统随着视场角的增大,几何像差的球差、慧差基本可以忽略,由于椭圆曲面镜的添加增大了全景成像系统的场曲,使得单色相差的畸变和点列图RMS半径都逐渐增加,成像质量下降,但是由图10(c)可知场曲最大增加5%,成像质量并未有明显下降。

3.2 不同尺寸镜面对比验证

设全景成像系统的镜面参数最优方案为 v ,将最优方案椭圆镜面 v 参数的长轴不变,短轴稍微增大同时仍然小于长轴,得到扩大方案的镜面参数 v_1 ,简称扩大镜面 v_1 ;将最优方案椭圆镜面 v 参数的长轴不变,短轴稍微减小,得到缩小方案的镜面参数 v_2 ,简称缩小镜面 v_2 。将最优方案椭圆镜面 v 与扩大方案 v_1 和缩小方案 v_2 进行ZEMAX软件仿真对比,确定最优方案 v 成像质量为最优。

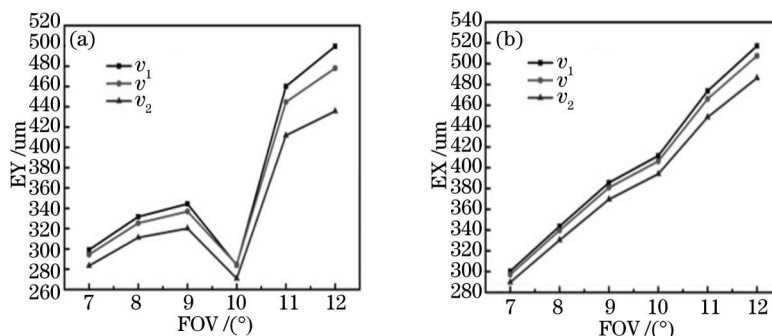


图 11 镜面 v 、 v_1 和 v_2 光线特性曲线对比。(a) 子午面光线特性曲线；(b) 弧矢面光线特性曲线

Fig.11 Ray characteristic curve of mirror v 、 v_1 and v_2 compare to each other. (a) Meridian plane ray characteristic curve; (b) sagittal plane ray characteristic curve

3.2.1 全景成像系统光线像差曲线

通过图 2 可以计算出全景成像系统使用的视场角范围,获得最优方案视场角的范围是 $7^\circ \sim 12^\circ$ 。在相同条件下测得方案 v_1 、 v 、 v_2 在成像范围内不同视场角下的光线像差曲线都是从 0 孔径到孔径边缘 1 正比例增大。EY 和 EX 表示子午方向的光线差和弧矢方向的光线像差,如图 11 所示。图 11 曲线为不同视场角下的像差,不同视场角像差值大小不同,表明系统存在场曲。从图 10 和图 11 可以看出,扩大镜面 v_1 的子午面和弧矢面的场曲最大,其次是最优镜面 v ,缩小镜面 v_2 的场曲最小。

3.2.2 全景成像系统场曲和畸变像差

图 12~14 分别是方案 v_1 、 v 、 v_2 的场曲和畸变曲线图,说明子午像面 T 和弧矢像面 S 基本重合,系统的像散都较小。系统的场曲随着视场角的增大, v_1 的场曲最大, v_2 最小,但相差不明显。从右图畸变变化曲线中看出系统的畸变随着视场角增大逐渐增加, v_1 畸变最大值最小,为 1.77%; v 为 2.48%, v_2 最大,达到 4.03%。

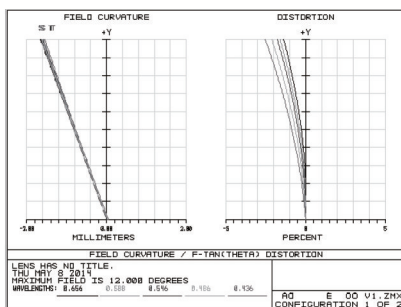


图 12 扩大镜面 v_1 场曲和畸变曲线图

Fig.12 Curves of field curvature and distortion of the distensible mirror v_1

3.2.3 全景成像系统点列图

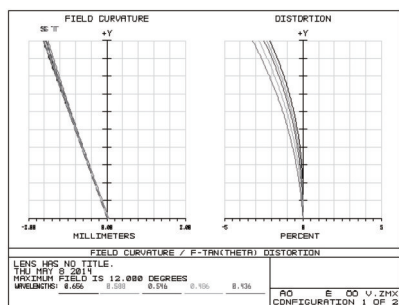


图 13 最优方案 v 场曲和畸变曲线图

Fig.13 Curves of field curvature and distortion of the optimal mirror v

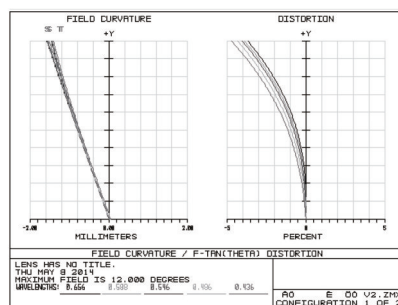


图 14 缩小镜面 v_2 场曲和畸变曲线图

Fig.14 Curves of field curvature and distortion of the contractible mirror v_2

在相机镜头相同,镜面距离镜头相等,对比在不同视场角时扩大镜面 v_1 ,最优镜面 v 和缩小镜面 v_2 成像的点列图弥散斑 RMS 半径大小,如图 15 所示,在相同条件下, v_1 的弥散斑最大,其次是 v , v_2 最小,但是相差很

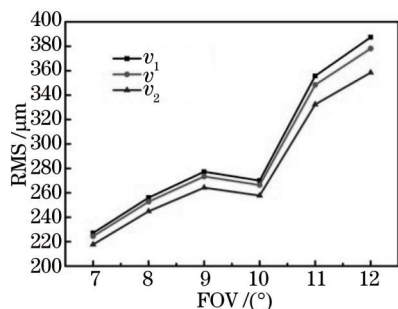


图 15 不同视场下点列图弥散斑
Fig.15 Spot diagrams size under different field angles

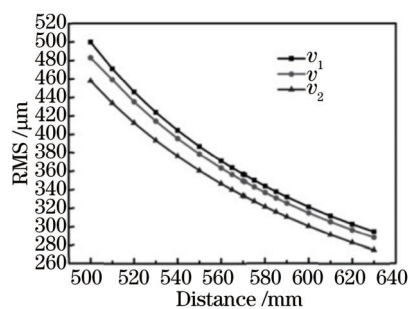


图 16 视场角为 11° 镜面与相机距离不同时点列图弥散斑
Fig.16 Spot diagrams size of different distances between mirror and camera when field angle is 11°

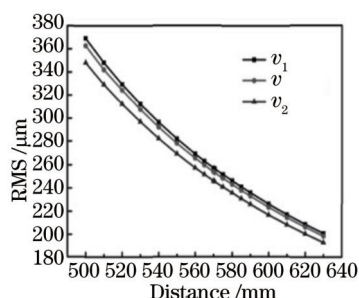


图 17 视场角为 8° 镜面与相机距离不同时点列图弥散斑
Fig.17 Spot diagrams size of different distances between mirror and camera when the field angle is 8°

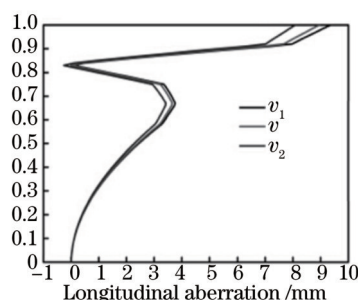


图 18 全景成像系统三个轴向色差曲线对比图
Fig.18 Contrast curves of three longitudinal aberration of the panoramic imaging system

小。当全景成像系统相机镜头相同,对比在视场角分别为 11° 和 8° 时,镜头与相机距离不断增大时,测量 v_1 、 v_2 的点列图弥散斑 RMS,比较成像质量。由图 16 和图 17 可知,在视场角相同时,镜面与相机的距离逐渐增加时,点列图 RMS 半径都逐渐减小;在镜面与相机的距离相同时, v_1 的弥散斑 RMS 最大,其次是 v_2 最小。

3.2.4 全景成像系统色差

从以上各种光线像差曲线和点列图中可以看出成像系统的垂轴色差很小几乎可以忽略。三个方案的轴向色差曲线对比如图 18 所示。由图 18 可知, v_1 的轴向色差最大,其次是 v_2 最小。当全景成像系统镜面扩大时轴向色差逐渐增大。

综上所述,全景成像系统随着视场角的增大,几何像差球差、慧差偏小基本可以忽略,像差场曲、畸变、轴向色差逐渐增加,导致成像清晰度有所下降。当全景成像系统镜面扩大时,成像系统的场曲会稍微变大,轴向色差会逐渐增大,而畸变会减小。而当镜面缩小时则相反,成像系统的场曲会稍微变小,轴向色差会逐渐较小,但畸变会增大。因此,综合考虑系统的各个成像质量指标,镜面的整体性能能够达到最优。

4 实 验

为验证所提出的圆柱物体环外侧成像镜面的设计方法及效果,根据 2.2 节获得的最优镜面参数加工出了反射面,如图 19 所示,反射镜面的内外圆直径分别为 120 mm 和 257.76 mm,镜面厚度 12.57 mm。实验中全景成像系统采用的实验装置是由普通工业相机和椭球体镜面组成,实验过程中采用三个聚光灯实现均匀照明。图 20 的图像是由 10 mm×10 mm 的方格组成,环绕在圆柱体的侧面,然后对圆柱体侧面的方格进行全景成像。获

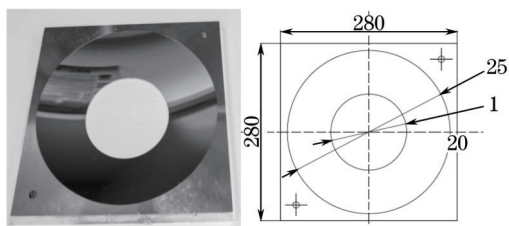


图 19 全景成像系统装置
Fig.19 Panoramic imaging system device

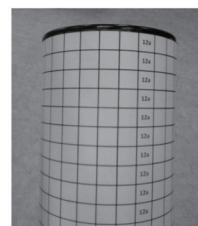


图 20 带有标示线的圆柱体拍摄对象
Fig.20 Shot cylindrical subject with marker lines

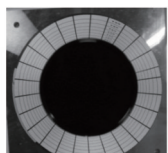


图 21 圆柱体侧面成像的全景图

Fig.21 Panoramic image of outside of the cylinder

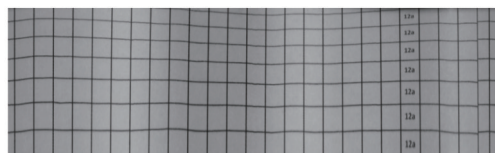


图 22 传统极坐标方法展开获得透视投影图

Fig.22 Unwrapped image using traditional polar coordinate method

得全景图,如图 21 所示。使用极坐标方法^[14]将拍摄的全景图像展开得到的透视投影全景图像如图 22 所示。

由图 22 可知,利用极坐标展开方法获得的透视投影图在水平方向上分布均匀,在垂直方向上每行的间距是由大到小变化的,与圆柱体侧面初始图像相比,存在一定的失真,成像质量一般。利用全景成像装置分别对以下三种圆柱体实物进行拍照,如图 23 所示。实验物体一和实验物体二的直径为 86 mm,高度为 150 mm,实验物体三的直径为 86 mm,高度为 180 mm,在实验中对物体成像的高度约为 70 mm。Opto 远心公司的 360°光学系统中的 PCCD 系列折反射环外侧镜头具有与该成像装置类似的功能,其最大视野型号 PCCD023 镜头拍摄的最大物体直径和高度只有 35、25 mm,而且其价格较为昂贵。

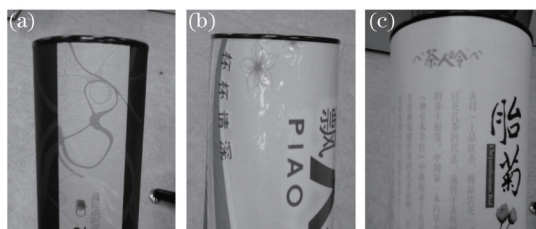


图 23 圆柱型实验物体。(a) 实验物体一; (b) 实验物体二; (c) 实验物体三

Fig.23 Material object of cylinder. (a) Experiment subject 1; (b) experiment subject 2; (c) experiment subject 3

图 24 为利用全景成像装置拍摄的全景图,采用极坐标方法将圆柱体实物侧面全景图展开得到透视投影图,全景图像展开可以根据需求围绕圆心从任意位置处展开,如图 25 所示。从图 25 可以看出,全景装置获得的透视投影全景图像清晰,失真较小,圆柱体外侧的字迹较为清晰,成像质量好,可以有效地检测圆柱体外侧的损伤、划痕、字符识别等。图 26 为 Opto 远心公司的 PCCD 环外侧镜头装置及成像结果和全景展开图,可以看出为了获得较大物体的图像,采用的镜头尺寸比较大。比较图 25 和图 26(c)可以看出,PCCD 的成像畸变较大。因此该成像装置能够对较大的物体清晰成像,而且畸变小。

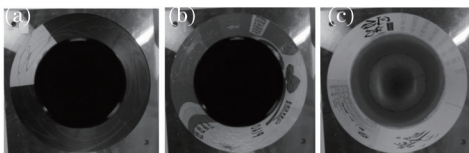


图 24 全景成像装置对圆柱体实物拍摄的全景图。(a) 实验物体一; (b) 实验物体二; (c) 实验物体三

Fig.24 Panoramic image of the cylinder using the panoramic imaging system device. (a) Experiment subject 1;

(b) experiment subject 2; (c) experiment subject 3

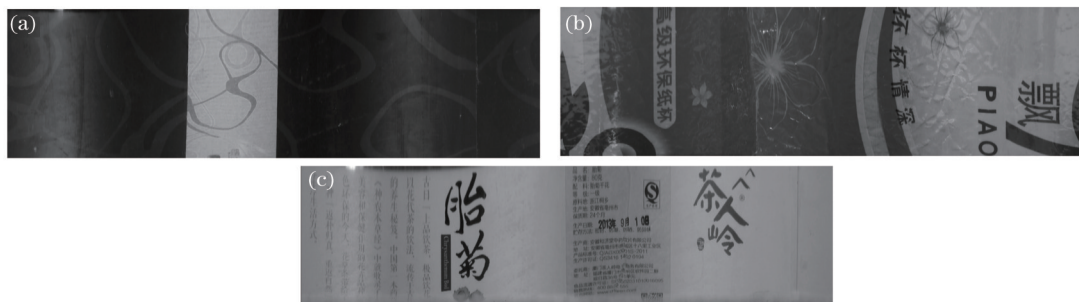


图 25 利用极坐标方法将图 24 全景图展开。(a) 实验物体一; (b) 实验物体二; (c) 实验物体三

Fig.25 Unwrapped image of Fig. 24 using traditional polar coordinate method, (a) Experiment subject 1;

(b) experiment subject 2; (c) experiment subject 3

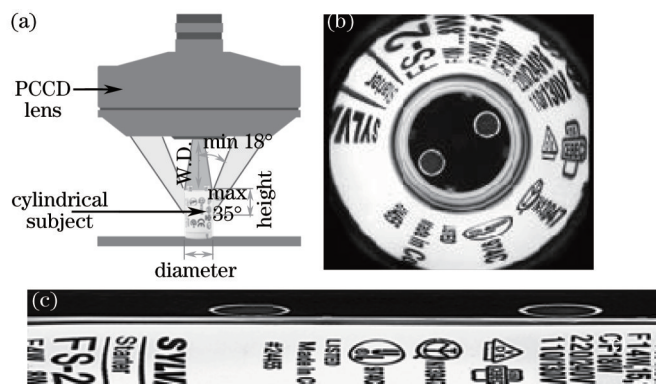


图 26 Opto 公司折反射环外侧镜头成像结果。(a) PCCD 镜头成像装置; (b) 360°全景图像; (c) 展开后的全景图像

Fig.26 Imaging result of catadioptric lenses for 360° Opto company. (a) PCCD lens imaging setup;

(b) 360°panoramic image; (c) unwrapped panoramic image

5 结 论

设计了一种柱状物体 360°环外侧全景成像装置,由普通工业相机和椭球镜面反射镜组成,主要应用于机器视觉领域对圆柱物体环外侧成像。该装置的镜面形状为椭球体,利用作图的方法设计对于特定尺寸的圆柱体适合的最优镜面参数,系统分辨率达到相机原分辨率 80%以上;利用光学设计软件对成像装置进行仿真,根据光学成像质量评价标准,通过对比的方法确定全景成像装置为最优方案。通过实验验证分析,根据极坐标方式将全景图像展开,能够很好地还原柱体侧面,满足机器视觉表面检测的要求。该装置具有结构简单、成像质量高、畸变小、成本低等优点,克服了传统的圆柱物体外表面 360°成像硬件装置复杂、价格昂贵、对图像拼接技术要求高的缺点,为机器视觉提供了一种良好的圆柱物体外环外侧表面 360°成像装置和镜面设计方法。

参 考 文 献

- 1 Xiao Xiao, Yang Guoguang. A present and development of panoramic imaging technique[J]. Optical Instruments, 2007, 29(4):84-89.
肖 潇,杨国光. 全景成像技术的现状和进展[J]. 光学仪器, 2007, 29(4):84-89.
- 2 Wang Shengchun, Luo Siwei, Huang Yaping, *et al.*. Stereo panorama generation from the train-brone video[J]. Acta Optica Sinica, 2014, 34(12): 1215005
王胜春, 罗四维, 黄雅平, 等. 移动车载视频的立体全景图生成方法[J]. 光学学报, 2014, 34(12): 1215005
- 3 Gao Lulu, Liu Jianjun, Ren Xin, *et al.*. Image quality evaluation of panoramic camera steropair based on structural similarity[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2014, 51(7):071004
高露露, 刘建军, 任 鑫, 等. 基于结构相似度的全景相机立体像对图像质量评价[J]. 激光与光电子学进展, 2014,51(7): 071004
- 4 Ishiguro H, Yamamoto M, Tsuji S. Omni-directional stereo[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(2): 257-262.
- 5 Yasushi Y. Omnidirectional sensing and its applications[J]. IEICE Transactions on Information and Systems, 1999, 82(3): 568-579.
- 6 Hartley R, Zisserman A. Multiple View Geometry in Computer Vision[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2003: 58-100.
- 7 Bruckstein A M, Richardson T J. Omniview cameras with curved surface mirrors[C]. Omnidirectional Vision, Workshop on. IEEE Computer Society, 2000: 79-79.
- 8 Yamazawa K, Yagi Y, Yachida M. Omnidirectional imaging with hyperboloidal projection[C]. Proceedings of the 1993 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS, 1993, 2: 1029-1034.
- 9 Baker S, Nayar S K. A theory of single-viewpoint catadioptric image formation[J]. International Journal of Computer Vision, 1999, 35 (2): 175-196.
- 10 Nayar S K. Catadioptric omnidirectional camera[C]. Proceedings IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1997: 482-488.
- 11 Baker S, Nayar S K. A theory of catadioptric image formation[C].Sixth IEEE International Conference on Computer Vision, 1998: 35-42.

- 12 Scaramuzza D, Martinelli A, Siegwart R. A toolbox for easily calibrating omnidirectional cameras[C]. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2006: 5695–5701.
- 13 Yao Weiyong, Cheng Huiquang. Research on nonlinear mapping in the hemispheric panoramic imaging system[J]. Opto-Electronic Engineering, 2001, 28(1): 32–35.
姚炜勇, 程惠全. 半球全景成像系统中的非线性映射研究[J]. 光电工程, 2001, 28(1): 32–35.
- 14 Wang Wenbo, Hu Yaqi. Application of panoramic vision based on unfolding of cylindrical image[J]. Computer Knowledge and Technology, 2011, 7(10): 6954–6956.
王文博, 胡亚琪. 基于圆柱面图像展开法在全向视觉上的应用[J]. 电脑知识与技术学术交流, 2011, 7(10): 6954–6956.

栏目编辑: 苏 岑