

文章编号 1004-924X(2007)05-0646-05

柱面系统无畸变指纹采集仪的光学设计

黄 玮^{1,2,3}

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039; 3. 长春方圆光电技术有限责任公司, 吉林 长春 130033)

摘要:针对以往无畸变指纹采集仪多采用棱镜补偿方案,系统存在棱镜的固有像散,光学系统难以补偿这种像差获得较高成像质量这一问题,提出了一种采用柱面系统结合双远心物镜校正投影畸变的新方案。该方案利用双柱面系统,在棱镜没有压缩图像的方向上压缩图像;利用双远心光路,消除物面和像面存在倾斜时的梯形畸变。采用该方案进行的计算机建模,经过合理调整优化函数,平衡各种像差,获得了比棱镜补偿校正畸变方案更高的成像质量。指纹采集仪得到了指纹采集方(物方)大部分视场的传递函数值在特征频率 5 lp/mm(对应像方 40 lp/mm)时 >0.377 ,在特征频率 10 lp/mm(对应像方 80 lp/mm)时 >0.139 的结果,大部分视场传递函数提高到棱镜补偿方案的 1.6 倍,同时各视场成像质量都比较均衡。

关键词:指纹仪;投影畸变;柱面系统;光学设计

中图分类号:TP391;TH703 **文献标识码:**A

Optical design of un-distorted fingerprint scanner using cylindrical system

HUANG Wei^{1, 2, 3}

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Changchun, 130033;*

2. *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039;*

3. *Changchun Fangyuan Opto-electronic Technology Co. Ltd., Changchun 130033)*

Abstract: In order to eliminate the distortion caused by the astigmatism from a compensate prism to improve the image quality of the optical system in a old no-distortion fingerprint scanner, a new method for eliminating the distortion using a cylindrical system combined with a telecentric lens is proposed. The double cylindrical system can reduce magnification in one direction that the prism doesn't do it, and the telecentric system can eliminate the trapezoid distortion when the objective and image is tilted. A computer model is established using this idea to adjust the suitable merit function to optimize the aberration, a higher imaging quality result is obtained comparing with the prism compensated method. From the example design, it is shown that using cylindrical system and telecentric lens method, the MTF in finger capture position is bigger than 0.377 in 5 lp/mm (equivalent 40 lp/mm in image area) and bigger than 0.139 lp/mm in 10 lp/mm (equivalent 80 lp/mm in image area) in most of the

收稿日期:2006-12-29;修订日期:2007-01-31.

基金项目:中国科学院“东北之春”人才培养计划资助项目

fields of view, the MTF value is 1.6 times as large as that obtained by the prism compensate method, also the image quality is much even in every field of view.

Key words: finger print scanner; projection distortion; cylindrical system; optical design

1 引言

随着国际反恐和安防局势的发展,世界各国逐渐加强了在生物特征识别领域的投入,美国、德国、法国、日本的政府和商业部门在该领域投入了大量的人力、物力进行研发,应用领域也越来越广^[1-2],生物特征识别的主要手段仍然是采用指纹采集和建库比对的方法^[3-5],光学式指纹采集仪以其大视场、高可靠性、高耐久性在该领域中占主导地位。

光学式指纹采集仪的基本成像原理是利用全反射的光学原理来实现指纹采集图像的高对比度。为使手指接触玻璃表面可以产生全反射,光学系统的光轴与指纹采集面必须存在一定的倾斜角度,该角度的大小与指纹采集棱镜的折射率、光学系统的轴外主光线与光轴的夹角两个因素有关。由于这个倾斜角度的存在,如果把指纹采集器的指纹采集面视为物面构成的光学系统,物面与光轴的位置关系不是垂直的而是倾斜的,为完善成像,像面也需要倾斜一个角度。由于物面与像面都不垂直于光轴,物成像到像面上必然形成一个具有投影畸变的像,也就是说正方形的物所成的像是梯形。

对于指纹比对而言,需要指纹采集仪获得的是一个没有畸变的图像。处理这种投影畸变,可以利用软件矫正的方法,但是由于水平方向每个电视行的倍率都不一样,软件处理起来比较麻烦,耗时也长;另外对于脱机使用的指纹采集系统,处理芯片的运算能力有限,希望不进行这种校正;而且由于光学系统得到的不是等精度的图像,容易影响整个系统的识别精度。因此,如何校正这种投影畸变,给光学设计者提出了有趣的课题。

本文就采用柱面镜校正投影畸变的指纹采集仪进行了研究。

2 投影畸变和采用棱镜补偿的方案消除投影畸变

2.1 物面不垂直于光轴时的物象关系

当物面是棱镜的斜面时,物面不垂直于光轴,其成像原理如图1所示:

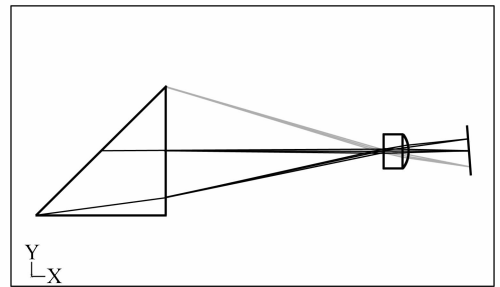
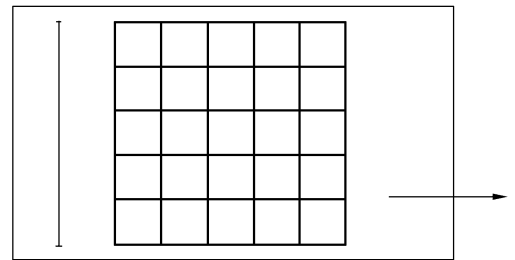


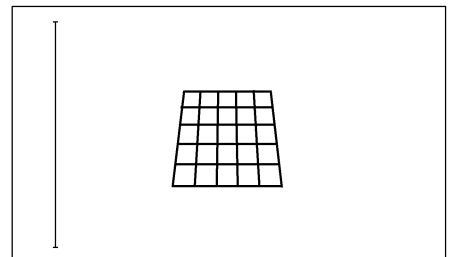
图1 物面存在倾斜时的成像关系

Fig. 1 Imaging in objective tilted



(a)物

(a)Objective



(b)像

(b)Image

图2 存在投影畸变的物和像

Fig. 2 Objective and image with projection distortion

物面和像面都存在倾斜,因此在指纹采集面上的一个正方形的物,经过棱镜、透镜成像系统,在棱镜上距离透镜远的点成像倍率小,距离透镜近的点成像倍率大,因此这种系统得到的是一个存在畸变的梯形像,这种变形被称之为投影畸变^[6],如图 2 所示:

2.2 棱镜补偿的方案原理

20 世纪 90 年代中后期,长春光机所韩昌元^[7]提出棱镜补偿方案消除投影畸变的概念,发明了采用该方案消除投影畸变的指纹采集系统,这种采集系统当时代表了国内的领先水平,在后续的十年时间里国内指纹采集仪行业沿袭这种方案,没有突破性、创新性的进展。这种方案的原理是在指纹采集棱镜后加入一块补偿棱镜构成复合棱镜,补偿棱镜在指纹采集棱镜压缩的方向放大、或在指纹采集棱镜没有压缩的方向压缩指纹图像,从而达到系统子午和弧矢方向成像比例相同,进而消除投影畸变。该方案的光学系统如图 3 所示,具体实现可采用 ZEMAX 进行模拟。

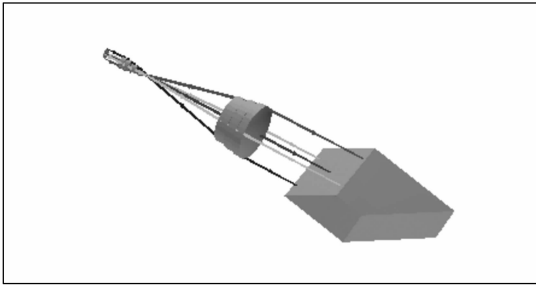


图 3 采用棱镜补偿的方案消除投影畸变

Fig. 3 Projection distortion correction using prism compensation

2.3 棱镜补偿方案的计算机模拟和像质评价

光学设计软件定义出瞳时无法将复合棱镜考虑进去,所以该系统需要从 CCD(CMOS)探测器开始定义,系统的评价因此也只能在指纹采集方进行评价^[4]。系统在指纹采集面空间的分辨率为 500 dpi,相当于 9.84 lp/mm,本文取整采用 10 lp/mm 进行评价。下面的设计中,CCD 探测器的像元尺寸为 6.25 μm ,像方相当于 80 lp/mm。该系统在棱镜采集方的光学传递函数如图 4 所示:

这种系统的问题是由于复合棱镜的加入,引入了固有的像散,依靠后面的透镜系统无法消除这种像散,系统的成像质量难以做得很好。

该设计的传递函数图总趋势为:系统轴外视

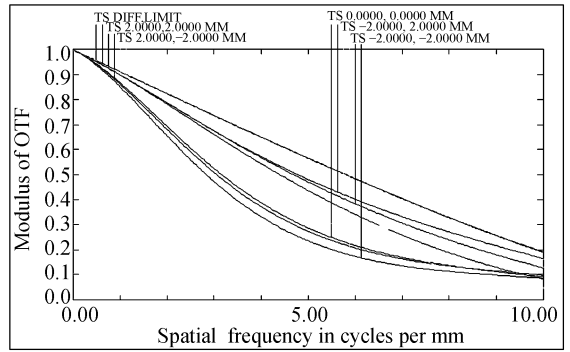


图 4 棱镜消除畸变方案的传递函数

Fig. 4 MTF using prism to compensate projection distortion

场在中低空间频率的子午光线传递函数数值比较低,因此系统对中低分辨率的物体成像对比度会比较低,而指纹采集恰恰在中低频信息比较丰富,因此这种系统用于较大采集区域(视场)的指纹采集系统存在一定的缺陷。

3 采用柱面镜系统校正投影畸变

由于柱面镜可以对物在一个方向压缩或放大,因此,我们认为柱面镜系统也可以用来校正投影畸变。

3.1 柱面望远系统结合双远心物镜的设计

本文的设置为:在指纹采集棱镜后,采用双远心物镜系统保证一个方向不会出现梯形畸变^[8,9];在双远心物镜前加入柱面系统,柱面系统由两块柱面镜构成,在柱面起作用的方向类似于一个望远系统,对平行于光轴的光线进行压缩,柱面系统压缩的倍率与棱镜使物缩小的倍率相同;柱面不起作用的方向相当于不同厚度的平板,没有倍率影响^[10-12]。这种系统正负柱面镜产生的像散量可以互相抵消一部分,因此像散量比复合棱镜系统要小得多。经过像差平衡,系统可以达到较好的成像质量。该系统的光学系统如图 5 所示:

采用该系统指纹采集方的光学传递函数如图 6 所示:

该设计的传递函数图总趋势为:系统轴外视场在中低空间频率的传递函数值比复合棱镜方案要高,没有在中低空间频率突然下降的趋势,因此系统对中低分辨率的物体成像对比度比较好,对

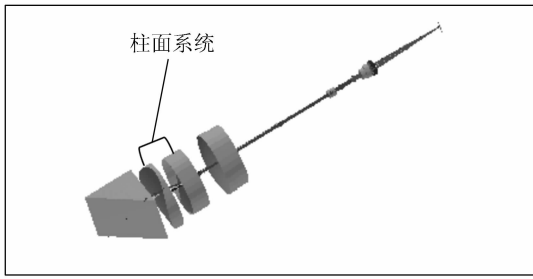


图 5 采用柱面镜校正投影畸变

Fig. 5 Design using cylindrical lenses to correct projection distortion

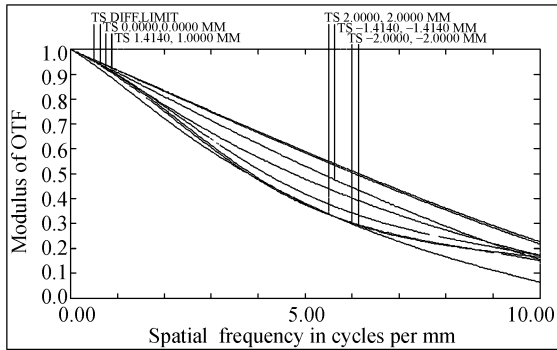


图 6 柱面镜消除投影畸变方案的传递函数

Fig. 6 MTF using cylindrical lens to correct projection distortion

实现较大采集区域(视场)的指纹采集系统成像质量比棱镜方案好得多。

3.2 成像质量比较

两种方案得到成像质量的比较如表 1 所示:

表 1 成像质量的比较

Tab. 1 Comparison of image quality

方案	MTF (5 lp/mm)		MTF (10 lp/mm)	
	大部分视场大于	最小	大部分视场大于	最小
棱镜补偿方案	0.235	0.096	0.085	0.049
柱面系统与双远心物镜组合的方案	0.377	0.374	0.139	0.063

由表 1 可见,采用柱面系统与双远心系统组合的方案,系统中低空间频率的传递函数比棱镜补偿方案提高了很多,系统高空间频率段的传递函数也比复合棱镜方案要好。

4 结 论

由以上数据结果可见,棱镜补偿法并非消除投影畸变的唯一和最佳方案,采用柱面镜系统可以消除物体存在倾斜的成像系统的投影畸变,而且可以得到较高的成像质量,实现指纹采集方大部分视场的传递函数值在 5 lp/mm(相当于像方 40 lp/mm)时 >0.377 ,在 10 lp/mm(相当于像方 80 lp/mm)时 >0.139 的技术指标。柱面补偿方案在光学传递函数的中频段和高频段的大部分视场传递函数提高到棱镜补偿方案的 1.6 倍(对部分视场在中频段提高更多,达到 3.9 倍),同时各视场成像质量都比较均衡,而棱镜补偿法的个别视场在中频段成像质量就开始下降了;同时,柱面镜方案具有指纹采集棱镜加工容易,指纹采集棱镜机械固定简单的优点,而且整个系统也容易达到高的可靠性。

参考文献:

[1] ROSS A, JAIN A K. Multimodal biometrics, an overview[C]. *Appeared in Proc of 12th European Signal Processing Conference (EUSIPCO), Austria, 2004*;1221-1224.

[2] 黄玮, 韩正臣. 多指指纹采集仪的光学系统设计[J]. *光学精密工程*, 2006, 14(6), 955-958.
HUANG W, HAN ZH CH. Optical system design of Multi-finger fingerprint scanner[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(6), 955-958. (in Chinese)

[3] 李刚, 王蒙军, 林凌. 采用非对称唇形轮廓模型提高汉语唇形识别效果[J]. *光学精密工程*, 2006, 14(3), 473-476.
LI G, WANG M J, LIN L. Improving Chinese lip-reading recognizing rate by unsymmetrical lip contour model[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(3), 473-476. (in Chinese)

[4] 乌旭, 胡家升, 梁殿亮. 基于区域分割的指纹奇异性检测及中心点计算[J]. *光学精密工程*, 2006, 14(2), 229-235.
WU X, HU J SH, LIANG D L. An algorithm for singularity detection and center point calculation based on finger-

- print segmentation[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(2), 229-235. (in Chinese)
- [5] 陆颖, 宋建中. 模式识别理论在指纹自动识别中的应用[J]. *光学 精密工程*, 1998, 6(1):31-35.
LU Y, SONG J ZH. The research on applications of pattern recognition in fingerprint identifying[J]. *Opt. Precision Eng.*, 1998, 6(1):31-35. (in Chinese)
- [6] SARUN S K, SUWANNEE P CH. Geometrical optics analysis for reduction of trapezoidal image distortion in a single prism-based optical fingerprint scanner[J]. *Opt. Lasers Eng.*, 2007, 45:229-239.
- [7] 韩昌元. 大视场无畸变指纹识别光学系统[P]. CN 1267503A, 2000.
HAN CH Y. Big FOV no-distortion fingerprint identification system [P]. CN 1267503A, 2000.
- [8] ZEMAX OPTICAL DESIGN PROGRAM USERS GUIDE[Z]. January, 2006.
- [9] ROBERT E. Fischer/Biljana Tadic-Galeb. *Optical system design*[M]. McGraw-Hill, 2000.
- [10] WEINER D. Telephoto Attachments for Telecentric Lenses[J]. *SPIE*, 2537:39-42.
- [11] KINGSLAKE R. *Lens Design Fundamentals*[M]. Academic Press, NY, 1978.
- [12] SMITH W J. *Modern Optical Engineering*[M]. McGraw-Hill, NY, 2000.

作者简介: 黄 玮(1965—), 吉林长春人, 长春光机所研究员, 在读博士, 主要研究方向为光学系统设计, 生物特征识别仪器。E-mail: huangw@ciomp.ac.cn