

采用树脂透镜的掌纹图像采集光学系统设计

袁春晓^{1,2}, 孙 强¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 光电技术研发中心, 吉林 长春 130033;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 为了获得高分辨率、高对比度和低畸变的掌纹图像, 同时实现系统的轻量化和高性价比, 本文基于全反射原理, 采用树脂材料设计了一款由6片镜构成双远心光路的掌纹采集光学系统。树脂材料的选用减轻了光学系统的总重量; 基于光的全反射原理的系统设计增强了掌纹图像的对比度; 选择双远心光学结构, 便于对倾斜物面所产生的梯形畸变进行矫正。对所设计光学系统的成像质量分析表明, 该系统所有视场的光学传递函数(MTF)在Nyquist频率228 lp/mm处均达0.55以上, 畸变<0.14%。设计的光学系统可以采集120 mm×160 mm的手掌区域, 实际手掌面上的分辨率达到500 dpi, 采集的掌纹图像分辨率达到 8.0×10^6 pixel, 满足了实际采集的要求。

关键词: 光学系统设计; 掌纹图像采集; 树脂透镜

中图分类号: TH703; TP391.4 文献标识码: A

Design of optical system based on resin lens for palmprint image sampling

YUAN Chun-xiao^{1,2}, SUN Qiang¹

(1. *Opto-electronic Technology Center, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*
2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

Abstract: In order to acquire a palmprint sampling image with high resolution, high contrast and low distortion and to achieve system lightweight and high performance-to-price ratio, a double telecentric optical system with 6 resin lenses was designed based on the principle of total reflection. The weight of system has been reduced largely due to resin lenses; and the resolution of acquired image has been enhanced because of the optical design based on the total reflection. Furthermore, the selection of the double telecentric optical system ensures the correction of the trapezoidal distortion introduced by the tilt object surface. It is shown that the Modulation Transfer Function(MTF) of the palmprint image sampling system is higher than 0.55 at Nyquist fre-

quency of 228 lp/mm, and the maximum distortion of the image is less than 0.14%. Moreover, the collection range of system is 120 mm × 160 mm within a palm, the actual resolution of palm can reach 500 dots per inch, and the image resolution is 8×10^6 pixels. These results meet the requirements of palmprint image sampling with high-precision and low distortion.

Key words: optical system design; palmprint image sampling; resin lens

1 引言

掌纹识别技术是利用掌纹图像信息对个人身份进行识别的一种生物特征识别技术,它除了具有生物特征识别的一般优点,如方便、快捷、可靠外^[1],还有一些自身的特点,包括识别的区域较大、包含的信息更多、采集方式的被接受程度较高等。

掌纹识别系统首先要解决的问题是掌纹图像的采集,这直接影响到后续识别的准确性和可靠性。掌纹图像的采集方式主要有油墨印记法、接触式扫描采集法、基于 CCD 或 CMOS 数码相机的非接触式法^[2~4]。其中油墨印记法采集图像时的质量与着墨多少和采集者的按压力度有关,不容易获得质量稳定的图像。接触式扫描采集法可以获得丰富的掌纹信息,但是需要较复杂的扫描机械机构,且采集的时间过长,被采集者的任何微小动作都会对图像造成破坏性影响。例如,2006年,北京交通大学用富士通公司的一款高速 A6 幅面扫描仪(Fi-60)改造的采集掌纹采集系统^[5]采集一幅超过 200 dpi 分辨率的掌纹图像需要 1 s 以上。非接触式 CCD 或 CMOS 数码相机法不需要机械结构扫描,采集时间短,并且由于 CCD 的分辨率高,也可以得到较丰富的掌纹信息,但是采集受外界光的影响很大,掌纹图像的对比度不够高。例如 A. Kumar 和 H. C. Shen 所设计的 CCD 数码相机拍照的掌纹采集装置^[6]就存在这样的问题。

在指纹识别技术中,速度快和对比度高的采集方法是利用棱镜全反射原理的接触式采集,通过特殊设计的光学系统配以 CCD 探测器,可以获得高对比度和高分辨率的指纹图像。然而和指纹采集相比较,掌纹采集的物面要大很多,棱镜的

倾斜物面所产生的成像梯形畸变很严重,这对成像光学系统提出了更高的要求。2006年,黄玮给出了一款基于棱镜全反射原理的多指纹光学采集系统^[7],该系统由单片前组和独立镜头组构成了物方远心光路,实现了较大物面的梯形畸变的矫正。

相比多指纹光学采集系统,掌纹采集系统的物面更大,对光学系统的要求更高。本文在参考了文献[7]的“单片前组和小镜头”构成的物方远心光路的基础上,设计了一款物方和像方严格双远心的掌纹采集系统。为了使系统更加轻便和有更高的性价比,系统使用了光学树脂材料。系统的掌纹图像采集面积为 120 mm × 160 mm,物方分辨率为 500 dpi(满足 FBI 标准),掌纹图像畸变 < 0.14%,达到了高精度掌纹图像采集的要求。

2 掌纹的光学采集原理

本文采用的光学掌纹采集原理与指纹采集原理^[8]类似,利用可以产生全反射效应的棱镜产生高对比度图像,然后用光学系统将掌纹图像成像在探测器 CCD 或 CMOS 上。在掌纹采集时,照明光从棱镜的直边面进入,手掌按在直角棱镜倾斜面上,掌纹和棱镜接触的部分由于油脂和汗液(折射率与水接近,约 1.33)的存在,不满足全反射条件,发生光的散射;而掌纹的凹谷和棱镜不接触,此时全反射发生在棱镜和空气的界面,从而产生高对比度的掌纹图像。

为了产生全反射,物面有一定角度倾斜,这样物面上不同部分的物距不同,成像面必定有一定倾斜,如图 1 所示。根据轴向放大率和垂轴放大率之间的关系,可以得出物倾角和像方倾角之间的关系:

$$\tan\theta' = \frac{1}{n}\beta\tan\theta, \quad (1)$$

式中 θ, θ' 分别为物、像平面与垂轴平面夹角, n 为棱镜折射率, β 为垂轴放大率。

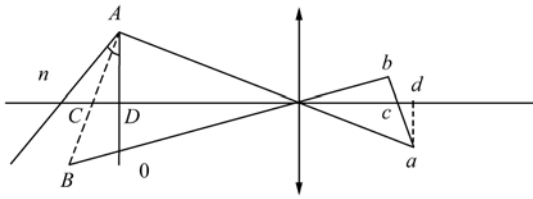


图1 倾斜物面成像的理想光路图
Fig. 1 Paraxial imaging of tiled object

对于非远心光路,由于不同物距的放大倍率不同,造成了倾斜物面上的正方形图形经过系统成像在像面上为一个梯形^[9],即产生了梯形畸变。尽管这种图像可以通过电子学进行处理,但是由于不同行的放大倍率不同,矫正时会破坏图形的整体精度,降低识别精度。图2所示的双远心光学系统可以矫正梯形畸变,其成像特点是放大倍率恒定,和物距无关。由式(1)可知,倾斜的物面在双远心光路中成像时,物、像面的倾角不同,这时倾斜边方向会有压缩,正方形图形成像为矩形。这种图像很容易通过电子学处理,且不会降低识别精度。

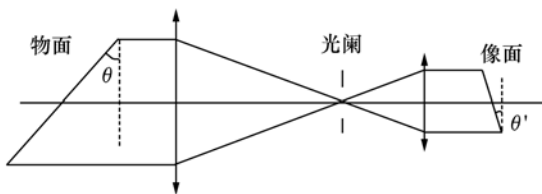


图2 双远心光路图
Fig. 2 Layout of double telecentric lens

3 光学系统设计方案

掌纹采集系统的设计要求是:对 $120 \text{ mm} \times 160 \text{ mm}$ 面积的掌纹成像,满足 FBI (the Federal Bureau of Intelligence) 标准的 500 dpi 物方分辨率。照明光波长为 $0.65 \mu\text{m}$ 的可见光,CCD 探测器为 Sony ICX476AQ,分辨率为 $8.0 \times 10^6 \text{ pixel}$,像元大小为 $2.2 \mu\text{m}$,光学系统在 Nyquist 频率

228 lp/mm 处具有良好的成像质量。

参考多指纹仪光路的初始结构前组采用单片透镜,后组选取具有对称型式的双高斯结构,前组单透镜和双高斯的前半部分对光阑形成物方远心光路。前组单透镜焦距较大,物面距离单透镜较近,相当于单透镜对物面成虚像,再经过后组双高斯结构成实像在 CCD 靶面上。经过估算,前组焦距取 600 mm 时,物面边缘点主光线经过单透镜折射后,在光阑处与光轴夹角约为 6° ,即后组高斯结构的视场角不大。

在透镜材料的选择上,尽管高折射率玻璃可以增大透镜表面曲率半径,减小高级像差,但在视场较小、高级像差较小的情况下,仍可以采用较为常见的折射率较低的光学树脂材料 PMMA、PC、PS 等,这些材料容易制作出复杂表面,可以使用一些非球面,对像差的校正有很大好处。除与手掌接触的棱镜采用玻璃材料以外,系统中所有的透镜均采用光学树脂材料。

这样设计的光学系统如图3和图4所示,设计使用的软件是 ZEMAX 2008^[10]。图5和图6分别给出了系统的 MTF 曲线和网格畸变图。可以看出,系统的 MTF 在 Nyquist 频率处,全视场达 0.4 以上(图5),最大畸变为 -0.35% (图6),基本达到了设计要求,但畸变略大。这种结构虽然单透镜与双高斯结构的前半部分构成了物方远心光路,但双高斯结构后半部分没能与光阑严格构成像方远心光路。

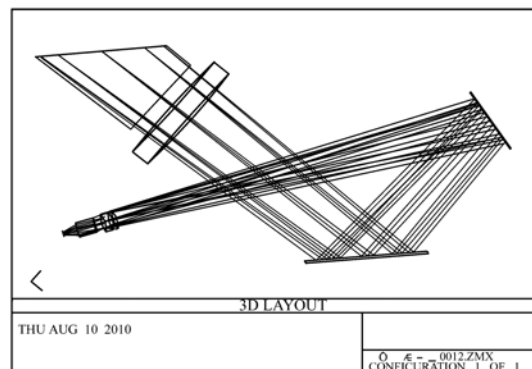


图3 全树脂材料的光学系统图
Fig. 3 Layout of optical system using resin material

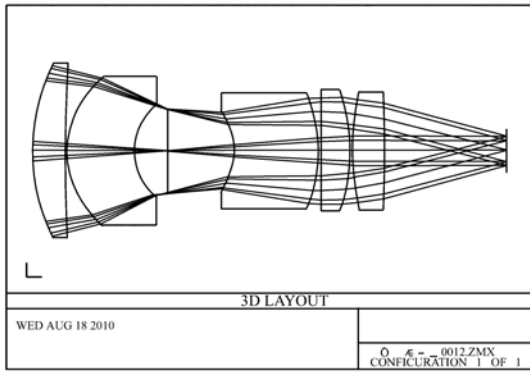


图4 后组透镜结构图

Fig.4 Layout of back lens using resin material

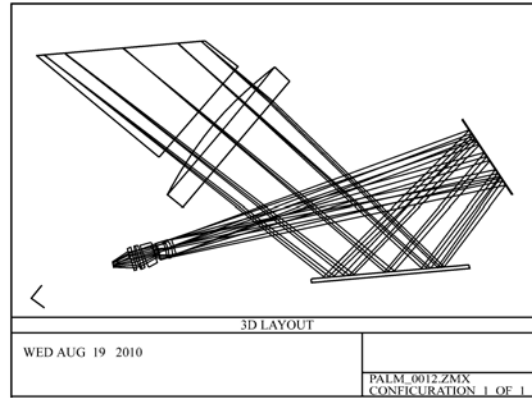


图7 改进设计的双远心光学系统

Fig.7 Layout of optical system after changing stop position

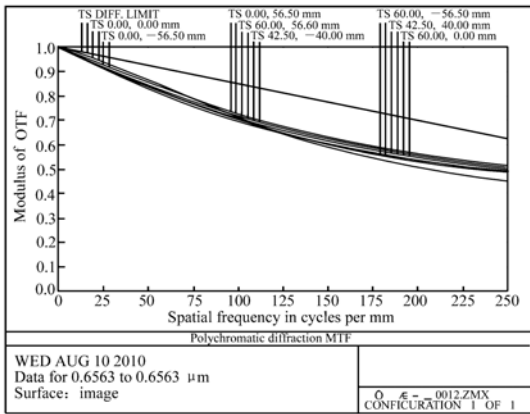


图5 系统 MTF 曲线

Fig.5 MTF curves of optical system using resin material

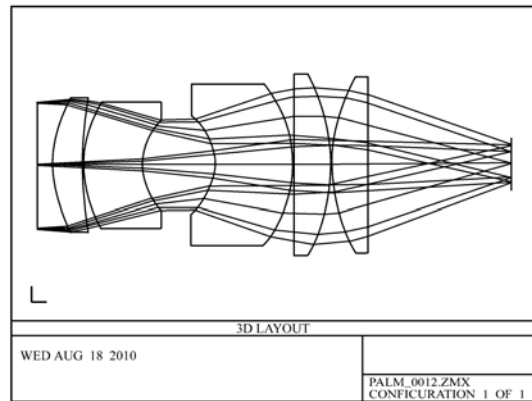


图8 双远心光学系统的后组透镜

Fig.8 Back lens after changing stop position

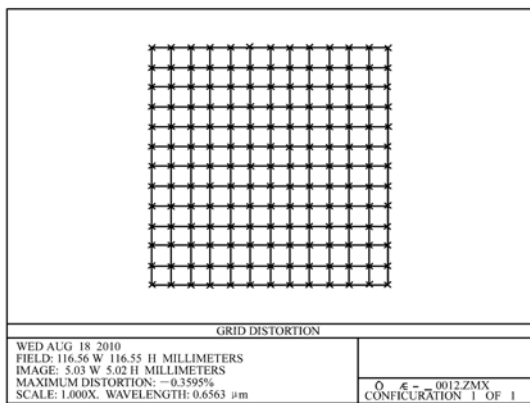


图6 系统网格畸变图

Fig.6 Grid distortion graph of optical system using resin material

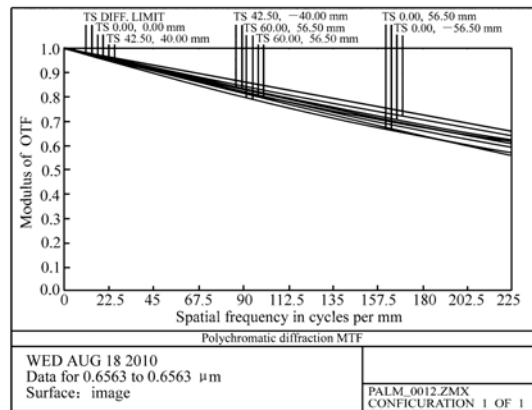


图9 双远心光学系统的 MTF 曲线

Fig.9 MTF curves after changing stop position

为了进一步提高掌纹采集的清晰度和减小畸变,将图3中的光阑前移到第二组透镜之前,前透镜和光阑构成物方远心光路,光阑和后透镜组构成像方远心光路,严格保证了双远心光学系统,从而更有利于畸变的矫正。重新优化设计后,得到

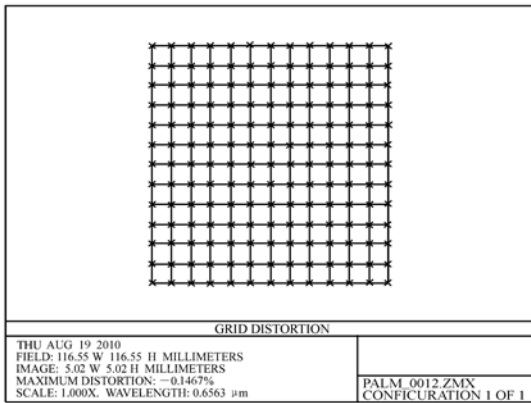


图10 双远心光学系统的网格畸变

Fig. 10 Grid distortion graph after changing stop position

如图7和图8所示的双远心光学系统。图9和图10分别给出了系统的MTF曲线和网格畸变图。可以看出,此双远心光学系统,不但最大畸变减小到-0.14%(图10),而且系统的MTF在Nyquist频率处全视场>0.55(图9),并且在中低频率处也整体得到提高,成像质量有了较大改善。应该指出的是,由于使用了光学树脂透镜,光学系统的重量大大减轻,在透镜批量生产时,成本也得到降低。

4 结 论

在掌纹采集系统中,采用远心结构能很好地矫正梯形畸变,产生一个长宽压缩比固定的图像,从而保证后续处理能够获得足够的识别精度。本文根据掌纹采集系统的设计要求,恰当选取树脂材料,设计了一款严格双远心掌纹采集光学系统,掌纹图像的分辨率达到 8.0×10^6 pixel,畸变<0.14%,实现了高精度、低畸变的掌纹图像采集。

参考文献:

- [1] 邬向前,张大鹏,王宽全. 掌纹识别技术[M]. 北京:科学出版社,2006.
WU X Q, ZHANG D P, WANG K Q. *Palmprint Recognition*[M]. Beijing: Science Press, 2006. (in Chinese)
- [2] 杨震群,魏骁勇,徐丹,等. 掌纹样本采样技术和预处理技术的分析和研究[J]. 计算机应用, 2007(2):380-383.
YANG ZH Q, WEI X Y, XU D, et al.. Research of sampling and preprocessing on palmprint image[J]. *J. Computer Appl.*, 2007(2):380-383. (in Chinese)
- [3] 蒋玮琦,赵继忠,刘博,等. 掌纹图像采集装置的研制[J]. 光学精密工程, 2009, 17(10):2555-2560.
JIANG W Q, ZHAO J Z, LIU B, et al.. Development of palmprint image sampling equipment[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(10):2555-2560. (in Chinese)
- [4] 董康. 掌纹图像采集与识别装置的研究[D]. 沈阳:沈阳工业大学, 2009.
DONG K. Study on palmprint image sampling and identify equipment[D]. *Shenyang: Shenyang University of Technology*, 2009. (in Chinese)
- [5] 王蒙. 掌纹识别系统的研究[D]. 北京:北京交通大学, 2007.
WANG M. Study on palmprint recognition system[D]. *Beijing: Beijing Jiaotong University*, 2007. (in Chinese)
- [6] KUMAR A, WONG D C M, SHEN H C, et al.. Personal verification using palmprint and hand geometry biometric[C]. Proc. of 4th Intl Conf, on Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication (AVBPA), Guilford, UK, Jun. 2003: 668-678.
- [7] 黄玮,韩正臣. 多指纹采集仪的光学系统设计[J]. 光学精密工程, 2006, 14(6):955-958.
HUAN W, HAN ZH CH. Optical system design of multi-finger fingerprint scanner[J]. *Opt. precision Eng.*, 2006, 14(6):955-958. (in Chinese)
- [8] 辛玉洁,韩正臣. 采用球面复合棱镜的指纹仪的红外光学系统设计[J]. 红外技术, 2008, 30(10):580-582, 590.

- XIN Y J, HAN ZH CH. An Infrared optical system design for small fingerprint scanner with spherical composite prism[J]. *Infrared Technol.*, 2008, 30(10): 580-582, 590. (in Chinese)
- [9] SUMRIDDETKAJORN S, PHOOJARUENCHANACHAI S. Geometrical optics analysis for reduction of trapezoidal image distortion in a single prism-based optical fingerprint scanner[J]. *Opt. Lasers Eng.*, 2007, 45(1): 229-239.
- [10] Zemax Optical Design Program Users Guide[M]. Tucson: Focus Software Inc, 2002.

作者简介:袁春晓(1983—),男,黑龙江齐齐哈尔人,硕士研究生,主要从事光学设计方面的研究。

E-mail: yuanchunxiao@163.com

孙强(1963—),男,黑龙江人,研究员,主要从事红外折、衍射光学系统设计方面的研究。

E-mail: suanqiang_sklaol@yhaoo.com

《发光学报》

EI 收录中文核心期刊

《发光学报》是中国科学院长春光学精密机械与物理研究所与中国物理学会发光分会共同主办的中国物理学会发光分会的学术会刊。该刊是以发光学、凝聚态物质中的激发过程为专业研究方向的综合性学术刊物。

《发光学报》于1980年创刊,曾于1992年、1996年、2000年和2004年连续四次被《中文核心期刊要目总览》评为“物理学类核心期刊”,并于2000年同时被评为“无线电电子学、电信技术类核心期刊”。2000年获中国科学院优秀期刊二等奖。现已被《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》和“万方数据资源系统”等列为源期刊。英国《科学文摘》(SA)自1999年;美国《化学文摘》(CA)和俄罗斯《文摘杂志》(AJ)自2000年;美国《剑桥科学文摘社网站》自2002年;日本《科技文献速报》(CBST, JICST)自2003年已定期收录检索该刊论文;2008年被荷兰“Elsevier Bibliographic Databases”和“EI”确定为源期刊。2001年在国家科技部组织的“中国期刊方阵”的评定中,《发光学报》被评为“双效期刊”。2002年获中国科学院2001~2002年度科学出版基金“择重”资助。2004年被选入《中国知识资源总库·中国科技精品库》。

本刊内容丰富、信息量大,主要反映本学科专业领域的科研和技术成就,及时报道国内外的学术动态,开展学术讨论和交流,为提高我国该学科的学术水平服务。

《发光学报》为双月刊,A4开本,144页,国内外公开发行。国内定价:40元,全年240元,全国各地邮局均可订阅。《发光学报》欢迎广大作者、读者广为利用,踊跃投稿。

主管单位:中国科学院

主办单位:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、中国物理学会发光分会

地址:长春市东南湖大路3888号《发光学报》编辑部

邮编:130033

电话:(0431)86176862, 84613407

E-mail: fgxbt@126.com

国内统一刊号: CN 22-1116/O4

国际标准刊号: ISSN 1000-7032

国内邮发代号: 12-312

国外发行代号: 4863BM

http://www.fgxb.org