

利用波阵面扩大虹膜采集装置的景深

彭智勇^① 曾庆宁^① 彭超男^②

^①(桂林电子工业学院 桂林 541004)

^②(中国传媒大学 北京 100024)

摘要 该文针对虹膜识别系统中虹膜采集装置采集虹膜图像很不灵活的问题,给出一种利用加波阵面来延长景深的方法。文中详细分析了其可行性及设计方法,并给出了运用此系统采集虹膜,进行虹膜识别的比较实验结果。该方法对虹膜识别的推广具有很高的参考价值。

关键词 虹膜识别, 景深, 波阵面, 采集

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2006)12-2283-04

Use Wavefront Extend the Depth-of-Field of the Iris Capture System

Peng Zhi-yong^① Zeng Qing-ning^① Peng Chao-nan^②

^①(Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

^②(Communication University of China, Beijing 100024, China)

Abstract The procedure of captured iris requires considerable cooperation from the user. The method using wavefront to extend the depth-of-field of the image capture system is expatiated in the paper. The feasibility and method of realization are given in detail. Finally, the result of iris recognition contrast experimentation using this system is introduced. The method has high value for popularizing iris recognition.

Key words Iris identification, Depth-of-field, Wavefront, Capture

1 引言

可靠的自动身份识别一直是现代科技的一个重要目标。目前主要的识别技术有指纹识别、脸型识别、手型识别,语音识别等。虹膜识别与其它生物识别技术相比,由于纹理具有高度的唯一性和稳定性,获取虹膜图像具有很好的非侵犯性,故虹膜识别将会成为现代生物识别的主流。例如脸型识别,采集的图像与摄像角度,当时的表情、灯光、年龄等有很大关系,因此识别准确度会随这些因素的变化而变化。同时由于类内的差别不大,即使用现在最好的算法识别错误率也高达43%—50%^[1]。

对于虹膜识别,用CCD摄像头从距眼睛35cm处拍摄像素480×640的眼部图,如图1所示。虹膜纹理很细,可以达到249个自由度^[2],而一般的指纹识别只有35个自由度^[3],同时虹膜结构从出生后3个月时开始生成,到8个月时基本成型,在人的一生中其结构基本稳定不变,且不具有遗传性,即使是同卵双胞胎,其虹膜也各不相同^[2]。运用Daugman算法进行虹膜识别,若选择的海明距离(HD)标准为0.32,出错概率只有 $1/(2.6 \times 10^7) \times 10^7$ ^[4]。故虹膜识别是一种很可靠的生物识别方法。

虹膜识别系统主要由4部分组成:虹膜图像采集、虹膜定位、虹膜编码,模式匹配等。目前使用的虹膜采集系统最

著名的有Daugman设计的采集系统和Wildes设计的采集系统。存在于这些采集系统中的一个关键问题是景深有限,对焦距过于敏感,因此要求采集者非常配合地反复前后移动头部才能采到合适的虹膜图像,这大大阻碍了该识别技术的推广。

本文针对前面提出的问题介绍了一种采用矩形波阵面透镜来延伸传统虹膜图像采集系统景深的方法。

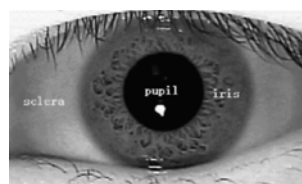


图1 眼睛结构图像
Fig.1 Anatomy of a frontal image of the eye

2 加波阵面的采集图像理论分析

在这一部分主要讨论了用伍德沃函数从理论上分析波阵面虹膜图像采集系统。方形波阵面的结构如图2所示。

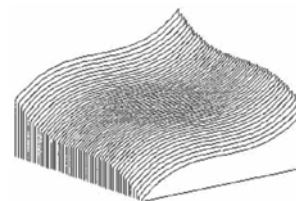


图2 满足式(1)的波阵面结构图
Fig.2 Rectangularly separable cubic phase surface described by Eq.(1)

表面结构能够用下式数学描述:

$$p(x,y) = \alpha(x^3 + y^3), \quad |x| \leq 1, \quad |y| \leq 1 \quad (1)$$

其处理过程如图3所示, 将波阵面加在传统镜头之上。

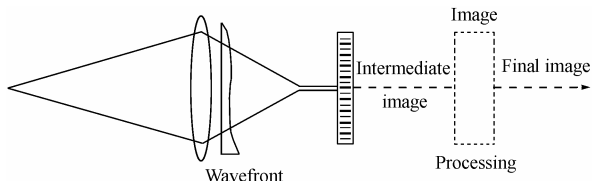


图3 用波阵面改良的虹膜采集系统
Fig.3 Cubic phase modified imaging system

伍德沃指出一个光学系统采集图像的能力能够用模糊函数来进行数学描述^[5]。模糊函数的形式为

$$A(u,v) = \int p(x+u/2)p^*(x-u/2)\exp(j2\pi vx)dx \quad (2)$$

其中 $j = \sqrt{-1}$, $p(x)$ 为表面波形函数, u 为空间频率。

一元图像系统在散焦时的光学转换函数(OTF)^[6] 为

$$H(u,\psi) = \int \{p(x+u/2)\exp[i(x+u/2)^2\psi]\} \cdot \{p^*(x-u/2)\exp[-i(x-u/2)^2\psi]\}dx \quad (3)$$

其中 u 为频率, ψ 为散焦参数, ψ 依赖于物理镜头的大小和焦距。

2元图像的模糊函数是由所有一元光线有散焦时的 OTF 决定。对于传统采集系统, 当散焦参数分别为 $\psi=0,15,30$ 时, 其 OTF 图形表示如图4所示。

采用矩形波阵面改良系统, 当 $\alpha=90$, 散焦参数 ψ 分别为 0 和 15 时其 OTF 图形如图5所示。与图4相比, 幅值虽然比传统采集系统在 $\psi=0$ 时有所下降, 但当 ψ 变化时其形状基本没变, 说明在一定范围内对焦距不太敏感, 扩大了景深, 且没有像图4一样出现了零点, 可以用图像增强的方法将其恢复得到最终图像。

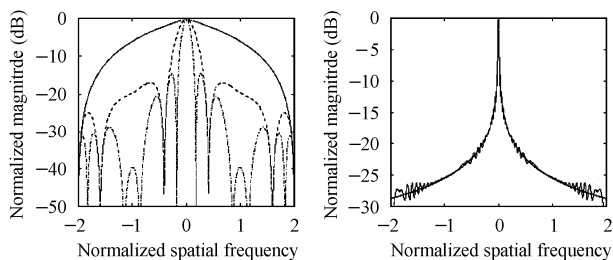


图4 传统系统的 OTF。实线为 $\psi=0$, 虚线为 $\psi=15$, 虚点线为 $\psi=30$

Fig.4 Magnitude of OTFs from the standard optical system. The solid line denotes the OTF with a misfocus ψ of 0, the dashed line is for ψ of 15, and the dashed-dotted line is for ψ of 30

图5 新系统的 OTF。 $\alpha=90$, $\psi=15$, 光滑的线为 $\psi=0$

Fig.5 Magnitude of the OTF of the cubic-Phase modified system with $\alpha=90$, and misfocus of $\psi=15$. The smooth curve is the stationary phase approximation of the OTF

3 波阵面的应用分析

图6分别表示了一元光线通过传统镜头与通过加波阵面

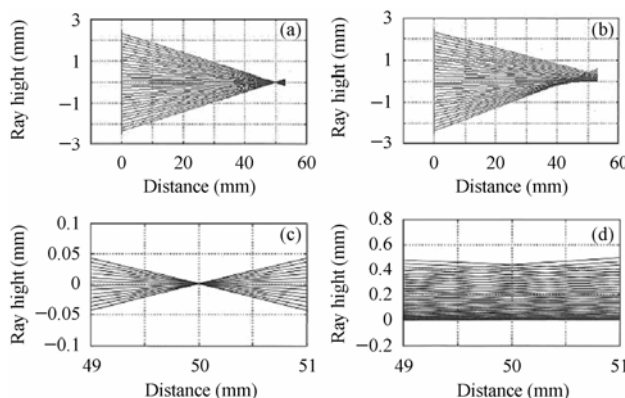


图6 一元光线传输图 (a), (c)为传统系统的光线传输图, (c)为对图(a)中光线汇聚处的放大 (b), (d)为加波阵面后的光线传输图, (d)为对图(b)中光线汇聚处的放大

Fig.6 Rays of a point source focused by a one-dimensional lens (a) without and (b) with a cubic phase plate of Eq.(1) incorporated. The detail near the normal image plane is shown in (c) and (d)

镜头后的光线传输变化。

从图6可以看到光线通过波阵面后虽然不如传统镜头会聚, 但它使得交叉的光束加长。明显具有延伸景深的作用, 同时从交叉的光线来看, 此光学系统的点扩展函数(PSF)不会有大的改变。对二元图像是的光线传输是由一元光线叠加而成。图7为用传统镜头聚焦和在离焦+15cm, -15cm 时采集的二元虹膜图像, 图8为用加波阵面镜头的系统在相同的位置采集的虹膜图像。

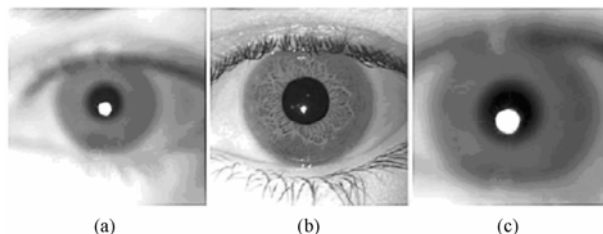


图7 用传统系统在3点采集的虹膜图像 (a) 离焦-15cm (b) 在焦点上 (c) 离焦+15cm
Fig.7 Images using a standard imaging system at three focus positions (a) -15cm away from best focus (b) Best focus (c) +15cm away from best focus

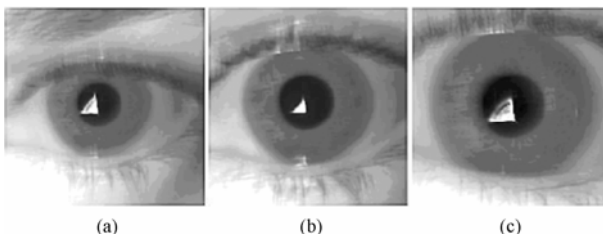


图8 用加波阵面后的系统采集的虹膜图像 (a) 离焦-15cm (b) 在焦点上 (c) 离焦+15cm
Fig.8 Images using a cubic phase modified imaging system at three focus positions (a) -15cm away from best focus (b) Best focus (c) +15cm away from best focus

从图 7, 图 8 可看出, 使用传统镜头图像中的模糊噪声随着离焦距离的增大迅速增大, 而加波阵面镜头后, 一定范围内不同散焦时采得的虹膜的清晰度基本保持不变, 与传统镜头相比, 在相同散焦度时采得的图像更清晰。虽然加波阵面的系统在聚焦时采得的虹膜比用传统系统采得的要模糊, 但它大大降低了对焦距的灵敏性, 在一定的离焦范围内采集的图像所含的噪声分量基本不变。针对所含的噪声分量, 由于虹膜中所含的自由度达 249 个, 根据 Daugman 算法将 HD 设为 0.32, 即允许有 30% 以上的误码存在, 同时它的散焦主要引起高频部分的信息丢失, 而在 Daugman 算法中利用 Gabor 小波编码, 中低频部分的信息比高频部分的信息对编码结果产生的影响更大。

4 图像的恢复

用本文系统采得的虹膜图像较传统系统在聚焦时采得的图像质量有所下降, 这对虹膜识别不利, 但这可以通过图像处理的方法加以恢复。对虹膜图像的恢复方法主要有, Wiener 滤波法^[7]和梯度变化最小均方值法(CGLS)^[8]。在本文中采用 Wiener 滤波法。

利用 Wiener 滤波对图 8(a), 8(b), 8(c) 3 幅虹膜图像进行恢复并去掉瞳孔中的光斑得到如图 9 所示的虹膜图像。

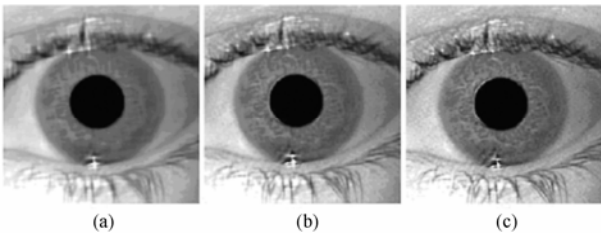


图 9 经过 Wiener 滤波后得到的最终虹膜图像

Fig.9 Restored images using Wiener filters

从图 9 可看出, 通过 Wiener 滤波恢复后虹膜图像纹理基本清晰。对采得的虹膜图像进行 Wiener 滤波, 然后再利用 Daugman 算法进行虹膜识别。其中用 Daugman 算法进行虹膜识别的实现方法为

第 1 步 根据同一圆心不同半径的相邻圆弧之间灰度的变化大小定位出虹膜的内外沿, 其中变化最大的极值点则为虹膜的边沿, 利用上述方法通过在一定范围内搜索圆心与半径, 从而定位出虹膜, 其中首先定位出内沿, 然后再根据内沿的圆心和半径可得到更准确的外沿的搜索范围。

第 2 步 对虹膜图像增强, 通过把虹膜上的点的灰度范围线性拉伸到 0-255, 来进行图像增强。

第 3 步 利用 Gabor 小波对虹膜进行编码。

第 4 步 利用海明测距的方法进行虹膜码匹配, 即求在虹膜的有效点中不相同点数占总有效点数的比例, 得到 HD。

通过上述步骤, 在离焦点 $\pm 20\text{cm}$ 的范围内, 对同一只眼睛每隔 0.5cm 采 2 幅虹膜图像利用在某一位置采得的 2 幅虹膜图像进行虹膜识别, 共有 80 次虹膜识别。得到 HD 值与离焦点的距离关系如图 10 所示。同样利用上面的方法, 对

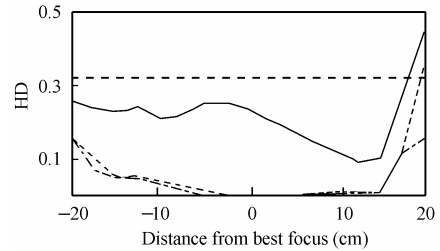


图 10 同一眼睛的虹膜识别结果分析

实线: 在图像未经过 Wiener 滤波, SNR=50, 虚线: 进行 Wiener 滤波恢复过, SNR=50, 虚点线: 进行 Wiener 滤波恢复过, SNR=33

Fig.10 To the same eye do iris recognition performance as a function of the physical distance from iris to camera

(Legend: solid line is for unrestored images with SNR=50, dashed line is for restored images with SNR=50, dashdot line is for restored images with SNR=33)

不同眼睛进行虹膜认证时的 HD 值与离焦点的距离关系如图 11 所示。从图 10 和图 11 可看出: 经 Wiener 滤波恢复后的图像, 其识别结果明显比未恢复的好。对同一眼睛进行虹膜认证时恢复后的 HD 值比恢复前的 HD 值减小了, 从而降低了拒真率。而对不同眼睛进行虹膜认证时恢复后的 HD 值比恢复前的 HD 值增加了, 从而降低了认假率。如果我们设定判别标准为 $HD=0.32$, 即 $HD \leq 0.32$ 时认为是同一虹膜, $HD > 0.32$ 时认为是不同虹膜, 应用本系统在离焦 $\pm 15\text{cm}$ 范围内所采得的虹膜图像都能够用于识别。

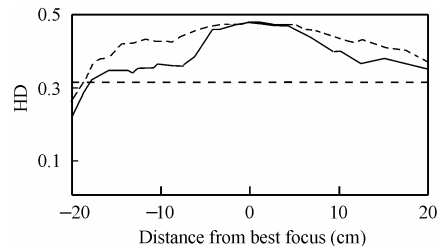


图 11 不同眼睛的虹膜识别结果分析

实线: 在图像未经过 Wiener 滤波, SNR=50, 虚线: 进行 Wiener 滤波恢复过, SNR=50。

Fig.11 To the different eye do iris recognition performance as a function of the physical distance from iris to camera

(Legend: solid line is for unrestored images with SNR=50, dashed line is for restored images with SNR=50)

5 结束语

这一新的方法能够极大地扩展传统系统的景深, 降低了系统对焦点的敏感度, 从而使得虹膜采集更加容易, 同时也保证了识别的准确度。本文中给出的实验和仿真结果, 可供进一步研究。

参考文献

- [1] Jphillips P, Moon H, Rizvi S A, Rauss P J. The FERET evaluation methodology for face-recognition algorithms. *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, 2000, 20(10): 1090-1104.
- [2] Daugman J. How iris recognition works. *IEEE Trans. Circuits and Syst. for Video Tech.*, 2004, 14(1): 21-30.
- [3] 林斌, 汪林峰, 曹向群. 虹膜识别中的采集系统研究. *激光与*

- 红外, 2002, 10(5): 347-349.
- [4] Daugman J. The importance of being random: Statistical principles of iris recognition. *Pattern Recognition*, 2003, 36(2): 279-291.
- [5] Cathey W, Dowski E. A new paradigm for imaging systems. *Applied Optics*, 2002, 41: 60-80.
- [6] Woodward P M. *Probability and Information Theory with Applications to Radar*. London: Pergamon Press, 1953: 75.
- [7] Plemmons R, Horvath M, Leonhardt E, *et al.*. Computational imaging systems for iris recognition. Proc. SPIE Annual Meeting, Wake Forest University 2004: 55.
- [8] Prasad S, Pauca V P, Plemmons R J, *et al.*. Pupil-phase optimization for extended-focus, aberration-corrected imaging systems. Proc. SPIE Annual Meeting, Wake Forest University 2004: 67.
- 彭智勇: 男, 1981 年生, 硕士生, 研究方向为图像信号处理与模式识别、神经网络、小波分析.
- 曾庆宁: 男, 1963 年生, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向为语音增强、图像识别、神经网络、数学规划与决策分析等.
- 彭超男: 女, 1980 年生, 硕士生, 研究方向为图像信号处理与模式识别、网络电视.