

文章编号: 0253-2239(2005)03-319-5

非接触式虹膜图像获取及特征提取方法的研究

王向军 张 敏 周鑫玲 刘 冀

(天津大学精密仪器及光电子工程学院, 天津 300072)

摘要: 报道了一种由使用者自行瞄准来实现虹膜图像非接触式获取的新方法,对获得的图像数据进行了虹膜纹理特征提取试验,验证了方法的可行性和有效性。通过设计几何光照明来辅助使用者定位瞄准,使眼睛处于前后合适的位置;并在摄像机镜头前面放置一片半透半反镜,帮助使用者观察自己眼睛的像来判断眼睛是否偏出摄像机的视场范围。通过该方法可以得到虹膜特征识别的图像数据。采用二维伽博小波对虹膜纹理进行特征提取,并计算两个虹膜特征码值中数值相等的特征位个数,对采集到的虹膜图像进行了特征匹配实验,得到的实验数据证实了该系统完全满足虹膜特征识别的要求。

关键词: 生物光学; 虹膜识别技术; 非接触采集; 特征提取

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A

Research on Non-Contact Method of Capturing Iris Image and Extracting Feature

Wang Xiangjun Zhang Min Zhou Xinling Liu Ji

(School of Precision Instrument and Optoelectronic Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072)

Abstract: A new method for iris recognition is presented, which can help users to get correct position and accomplish non-contact capture by self-aiming. The experiments on extracting feature from iris texture are carried out, and the feasibility and efficiency of this method are verified. The special illumination is designed for the purpose of assisting users to focus their eyes on the proper position. A piece of pellicle mirror is placed in front of the camera lens to help users to observe the eyes' image and ensure that the eyes are in the camera visual field. Thus image data that meet the requirement of iris recognition can be obtained. The two-dimensional Gabor wavelet theory is adopted for extracting feature from iris texture. Feature matching experiments are made by counting the amount of the equal flag bits of two iris images.

Key words: biological optics; iris recognition; non-contact capture; feature extraction

1 引 言

生物识别技术已经得到了广泛的应用。其中虹膜识别技术由于稳定性好、准确率高等优点而逐步受到人们的重视,近年来在研究和应用方面都得到了长足的进步;非接触式、可由使用者自行瞄准的虹膜图像采集方法已经成为虹膜图像采集技术的一个发展趋势;利用二维伽博小波变换实现特征提取及匹配的方法也被广泛研究^[1~4]。本文尝试了一种采用几何光辅助使用者定位瞄准的方法,实现了虹膜图像的非接触采集,并在此基础上进行了虹膜图像

纹理特征提取的试验。

2 虹膜图像的非接触式获取

非接触式虹膜采集系统主要由图像采集电路,光学镜头以及照明装置组成。由于传统的 CCD 与图像采集卡组合进行图像采集的方法暴露出集成度低、使用不便等缺点,所以图像采集电路采用互补性金属氧化物半导体(CMOS)图像传感器与相应的专用通用串行总线(USB)控制芯片传输相结合的方案,不仅使用便利,而且传输速度达到了每秒 15 帧 VGA 图像,

作者简介: 王向军(1955~),男,天津大学精密仪器与光电子工程学院教授,主要从事精密测试技术及仪器、影像与视觉测量方面的研究工作。E-mail: xdocujw@vip.163.com

收稿日期: 2004-05-19; 收到修改稿日期: 2004-08-24

满足了虹膜识别技术对采集速度的要求。

在进行非接触虹膜图像采集时,要解决几个问题:

- 1) 在设计过程中要考虑使系统采集到的图像质量免受杂光的干扰;
- 2) 提供方法使使用者眼睛的位置能够保持稳定,不来回晃动;
- 3) 提供方法辅助使用者判断眼睛是否在正确的位置,包括是否进入了采集设备的视场范围,以及到镜头的距离是否合适。

针对上面提出的问题,我们设计了如图 1 的照

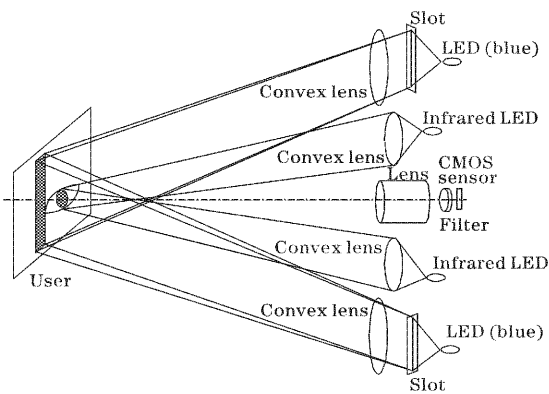


图 1 系统的照明方案

Fig. 1 Illumination project of the system

明方案。

为了克服杂光对虹膜图像画质的影响,虹膜采集系统采用红外线 LED 照明,并且在摄像机镜头(lens)和图像传感器(CMOS sensor)之间粘贴一滤光片(filter),只允许 LED 发出的红外线通过。这样就能够有效的防止杂光对采集图像的干扰。

为方便操作并减少失误,摄像机镜头前面放置了一片半透半反镜,使用者可以通过半透半反镜观察自己眼睛的像是否在镜头的范围内来判断自己的眼睛是否偏出摄像机的视场范围。

设计了几何光辅助照明来辅助使用者判断自己的眼睛是否达到合适的距离。采用两个蓝色的 LED 提供辅助照明,LED 发出的光通过狭缝和凸透镜后,在使用者的脸上成条状的像。通过调节狭缝与凸透镜之间的物距以及两套装置的角度,当使用者的眼睛在合适的距离上时,两个狭缝所成的像会重合在一起。否则,两个狭缝所成的像会分开。这样,通过观察狭缝的像是否重合,使用者就可自行调节眼睛的位置至合适距离。由于使用者一直注视自己的眼睛在半透半反镜所成的像,所以眼睛的位置不会窜动从而影响虹膜图像的获取。

图 2 是我们设计的非接触式虹膜采集系统结构图,以及该系统采集到的虹膜图像。

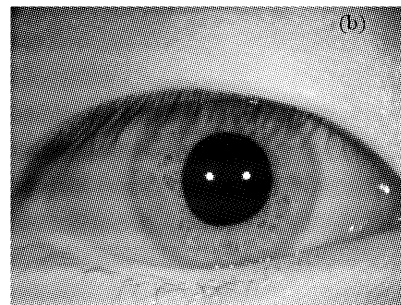
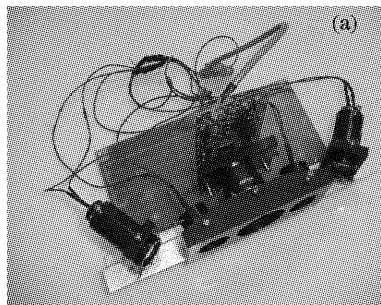


图 2 (a) 非接触式虹膜图像采集仪结构图, (b) 虹膜图像

Fig. 2 (a) The structure of non-contact iris image collector, (b) iris image collected by the collector

3 虹膜图像纹理的特征提取

我们采用二维伽博小波^[3]对虹膜纹理进行特征提取,一般形式为

$$\psi(x_1 + x_2) = \exp[j(\omega_{10}x_1 + \omega_{20}x_2)] \times \exp\left[-\frac{1}{2}(x_1^2 + x_2^2)\right]. \quad (1)$$

使用二维伽博小波进行图像的纹理分析有以下优点:

- 1) 二维伽博小波变换属于二维连续小波变换,

因此具有比较好的方向选择性;

2) 二维伽博小波本身属于高斯小波族,因此二维伽博小波是在时-频联合分布域中具有最好的分辨力的小波函数之一;

3) 二维伽博小波是高斯小波的单频率正弦函数,因此在进行特征提取完成后,可以利用计算得到的特征值的相位特性来进行编码和匹配,简化了编码的过程。

参考 Daugman 提出的伽博小波变换形式(2)

$$WT_f(r_0, \theta_0; \alpha, \beta) = \iint I(\rho, \theta) \exp[-j\omega(\theta_0 - \phi)] \exp\left[-\frac{(r_0 - \rho)^2}{\alpha^2}\right] \exp\left[-\frac{(\theta_0 - \phi)^2}{\beta^2}\right] \rho d\rho d\theta, \quad (2)$$

按照下面的方法来进行特征提取的计算:

1) 在对伽博小波变换公式进行离散求和运算时,将虹膜图像进行裁剪,使其统一成直径大小为 299 个像素点的圆盘状图像,瞳孔的直径统一为 129 个像素点,因此在进行积分求和运算时, ρ 的取值范围可以取从 65 到 149。

2) 考虑到眼镜的睫毛会对虹膜纹理的特征提取产生很大的干扰,而虹膜纹理本身又非常复杂,包含信息量很大。把积分的角度范围设定在 $-\pi/4$ 到 $\pi/4$ 之间,就可以避开睫毛部分的影响,而只用不被睫毛掩盖的部分进行特征提取的计算。由此可以得到离散求和公式(3):

$$WT_f(r_0, \theta_0; \alpha, \beta) = \sum_{\rho=65}^{149} \sum_{\theta=-\pi/4}^{\pi/4} I(\rho, \theta) \exp[-j\omega(\theta_0 - \phi)] \times \exp\left[-\frac{(r_0 - \rho)^2}{\alpha^2}\right] \exp\left[-\frac{(\theta_0 - \phi)^2}{\beta^2}\right] \rho, \quad (3)$$

3) (3)式中的 $I(\rho, \theta)$ 可以用下面的方法求得:将经过预处理的虹膜图像数据储存在一个二维数组 $IrisImage[300][300]$ 中,由于采用 Matlab 软件中数组坐标的索引值是从 1 开始的,而且坐标系是以图像的左上角开始, x 向右增大, y 向下增大。取坐标 (150,150) 为新的极坐标系的圆心,则有

$$x = \rho \cos \theta + 150, \quad y = 150 - \rho \sin \theta, \quad (4)$$

取 $I(\rho, \theta)$ 的值为 $IrisImage(y', x')$, 其中 x' 为 $(\rho \cos \theta + 150)$ 的取整值, y' 为 $(150 - \rho \sin \theta)$ 的取整值。取 ρ 的单步增量为 2,取角度 θ 的单步增量为 $\pi/40$ 。就可以利用(3)式来求取积分。

4) 通过选取不同的 $\alpha, \beta, \theta_0, r_0$ 的值,可以得到

不同的小波函数进行小波变换。对这些参量分别取以下值:

取 $\alpha = 1/3, 1/2, 1, 2, 3; \beta = 1/3, 1/2, 1, 2, 3; \omega = 1/\beta$ 。

取 $\theta_0 = -5\pi/4, -\pi, -3\pi/4, -\pi/2, -\pi/4, 0, \pi/4$ 。

取 $r_0 = 65, 75, 85, 95, 105, 115, 125, 135, 145$ 。

得到了一组 1575 个小波函数对虹膜纹理进行小波变换操作,即可得到 1575 个复数结果。也就是从虹膜纹理中提取到的特征值。

5) 特征编码的方法可以利用提取到的特征值的相位特性来实现。具体方法如下:取特征码长度为 3150 位,每一个复数结果占用两位特征码分别记录结果的实部和虚部的情况。如果其实部大于或等于 0,则相应的特征位置 1,否则置 0;如果虚部大于或等于 0,则相应特征位置 1,否则置 0。在进行特征匹配时,只需比较两个特征码中数值相等的特征位的个数即可。

4 实验数据分析

通过计算两个虹膜特征码值中数值相等的特征位个数,对采集到的虹膜图像进行了特征匹配实验,并得出了实验数据。

下面的表 1 中给出的是同学 A 的同一只眼睛提取到的特征码之间的比对数据。

表 2 给出的是从同学 B 的同一只眼睛提取到的特征码之间的比对数据。

表 3 给出的是同学 A 和同学 B 之间的虹膜特征码的比对数据。

表 1 同学 A 同一只眼睛提取到的特征码之间的对比数据

Table 1 The contrasting data of the equal flag bits number of Student A's eye

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0		2596	2518	2572	2580	2666	2634	2626	2625
1	2596		2480	2560	2494	2544	2590	2516	2481
2	2518	2480		2612	2720	2564	2600	2694	2707
3	2572	2560	2612		2560	2532	2592	2562	2631
4	2580	2494	2720	2560		2628	2684	2590	2691
5	2666	2544	2564	2532	2628		2720	2684	2695
6	2634	2590	2600	2592	2684	2720		2776	2831
7	2626	2516	2694	2562	2590	2684	2776		2809
8	2625	2481	2707	2631	2691	2695	2831	2809	

表 2 同学 B 同一只眼睛提取到的特征码之间的比对数据

Table 2 The contrasting data of the equal flag bits number of Student B's eye

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0		2521	2516	2465	2567	2523	2471	2439	2573
1	2521		2517	2486	2589	2588	2580	2478	2500
2	2516	2517		2581	2527	2627	2593	2565	2569
3	2465	2486	2581		2514	2564	2534	2698	2586
4	2567	2589	2527	2514		2610	2594	2602	2622
5	2523	2588	2627	2564	2610		2514	2598	2730
6	2471	2480	2593	2534	2594	2514		2510	2578
7	2439	2478	2565	2698	2602	2598	2510		2542
8	2573	2400	2569	2586	2622	2730	2578	2542	

表 3 同学 A 与同学 B 之间的虹膜特征码的比对数据

Table 3 The contrasting data of the equal flag bits number between Student A and Student B

	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
A0	2446	2369	2442	2347	2469	2369	2371	2369	2385
A1	2390	2401	2350	2299	2349	2401	2361	2353	2329
A2	2398	2477	2462	2407	2423	2365	2391	2517	2553
A3	2478	2437	2472	2317	2395	2449	2437	2389	2451
A4	2472	2489	2536	2505	2435	2501	2455	2439	2545
A5	2368	2445	2432	2435	2445	2467	2515	2413	2385
A6	2404	2449	2442	2397	2417	2517	2487	2403	2415
A7	2446	2463	2468	2405	2473	2525	2493	2515	2523
A8	2511	2454	2467	2410	2456	2414	2450	2444	2424

根据上面的数据,统计比对时特征位相等的个数所占的百分比如表 4 所示。

表 4 各种比对过程中特征位相等个数的分布概率

Table 4 The probability distribution of the equal flag bit number in feature matching

	I	II	III
2300~2349	0	0	4.9%
2350~2399	0	0	21.0%
2400~2449	0	2.8%	34.6%
2450~2499	8.3%	11.1%	23.4%
2500~2549	11.1%	30.5%	13.6%
2550~2599	27.8%	38.9%	2.5%
2600~2649	19.4%	11.1%	0
2650~2699	16.7%	2.8%	0
2700~2749	8.3%	2.8%	0
2750~2799	2.8%	0	0
2800~2849	5.9%	0	0

I: The distribution of the contrasting data of Student A's iris code

II: The distribution of the contrasting date of Student B's iris code

III: The distribution of the contrasting data between Student A and Student B

同一个人的虹膜特征码比对时,相等的特征位

的个数基本上集中在 2500 个特征位以上。如同学 A 的特征码比对时,相等的特征位的个数主要分布在 2500~2699 之间,而且相等的特征位的个数高于 2500 的比对,约占比对总数的 91.7%;而同学 B 的特征码比对时,相等的特征位的个数主要分布在 2500~2649 之间,而相等的特征位的个数高于 2500 的比对约占比对总数的 86.1%。不同人的特征码进行比对时,相等的特征位的个数主要集中在 2350~2499 之间,而相等的特征位的个数低于 2500 的比对,约占比对总数的 83.9%。因此,在虹膜特征码的比对过程中,通过比较相等的特征位的个数,即可判断进行比对的两个特征码是否来自同一个人。

5 结 论

介绍了利用几何光辅助照明实现非接触虹膜图像采集的一个方法,目前该方法还有以下方面需要完善:

1) 在几何光辅助非接触式虹膜采集的基础上,加入计算机分析图像的功能,使得计算机能够通过分析图像中的梯度等特征,自行判断使用者的虹膜是否在合适的距离,从而实现自动进行虹膜图像的

采集。提高整个系统的自动化程度,并使虹膜采集的过程更加友好。

2) 针对现有的几何光辅助定位瞄准的方法进行进一步的完善和改造,使自动瞄准和定位更加准确。

3) 对从虹膜纹理中提取特征的方法进行进一步的研究。虽然本论文中完成了用二维伽博小波提取特征值并进行匹配的试验,得到初步的结果。但是该结果距离实际应用的要求还有很大差距。此外,由于论文中的方法消耗时间比较大,也有必要进行快速算法的研究。

参 考 文 献

- 1 John Daugman. Recognizing people by their iris pattern [J]. *Information Security Technical Report*, 1998, 3(1): 33~39
- 2 John Daugman. Statistical richness of visual phase information: update on recognizing persons by iris patterns[J]. *International J. Computer Vision*, 2001, 45(1): 25~38
- 3 Yang Fusheng. *Engineering Analysis and Applications of Wavelet Transform* [M]. Beijing: Science Press, 1999 (in Chinese)
杨福生. 小波变换的工程分析与应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999
- 4 Yan Minjun, Wang Yunjiu. Principle of iris computer recognition[J]. *Prog. Biochem. Biophys.*, 2000, 27(4): 348~350 (in Chinese)
严民军, 汪云九. 虹膜的计算机识别原理[J]. *生物化学与生物物理进展*, 2000, 27(4): 348~350
- 5 Hua Weiling, Ma Dongtang, Wei Jibo. APD signal detecting method based on wavelet transform[J]. *Chin. J. Lasers*, 2004, 31(4): 465~468 (in Chinese)
华卫令, 马东堂, 魏急波. 基于小波变换的雪崩光电二极管信号检测方法[J]. *中国激光*, 2004, 31(4): 465~468
- 6 Lin Hu, Guo Shuxu, Zhao Wei *et al.*. Wavelet transform for evaluation of semiconductor laser reliability[J]. *Chin. J. Lasers*, 2004, 31(9): 1050~1054 (in Chinese)
林 虎, 郭树旭, 赵 蔚 等. 小波变换用于半导体激光器可靠性分析[J]. *中国激光*, 2004, 31(9): 1050~1054