

利用多光谱图像的伪造虹膜检测算法

陈 瑞¹, 孙静宇², 林喜荣¹, 丁天怀¹

(1. 清华大学精密测试技术及仪器国家重点实验室, 北京 100084; 2. 太原理工大学计算机科学与技术学院, 山西太原 030024)

摘要: 虹膜识别系统易受各种类型伪造虹膜的攻击, 需要预先检测虹膜的活性. 本文提出分别采集 860 nm 和 480 nm 波长的虹膜图像, 根据活体人眼的特殊光谱特性, 从图像中提取结膜血管变化数(RNCV)和纹理熵比(ERIT)特征. 使用训练好的支持向量机(SVM)对特征向量进行分类, 输出活性检测结果. 在自建的伪造虹膜数据库上的测试结果表明, 本文算法可以有效排除打印图像, 人造眼, 彩色隐形眼镜等各类伪造样本, 能满足实时应用要求.

关键词: 多光谱图像; 活体检测; 结膜血管检测; 小波包分解

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2011) 03-0710-04

An Algorithm for Fake Irises Detection Using Multi-Spectral Images

CHEN Rui¹, SUN Jing-yu², LIN Xi-rong¹, DING Tian-huai¹

(1. State Key Laboratory of Precision Measurement Technology and Instruments, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Taiyuan University of Technology, College of Computer Science and Technology, Taiyuan, Shanxi, 030024, China)

Abstract: Iris liveness detection is a necessary module for iris recognition because iris recognition systems are easily attacked by fake irises. This paper proposes to prevent fake irises using iris images at 860 nm and 480 nm wavelengths. According to spectral characteristics of human eyes, relative number of conjunctival vessels (RNCV) and entropy ratio of iris textures (ERIT) are extracted. The final detection results are output after the trained support vector machine (SVM) is used to classify these feature vectors. Experimental results on the constructed fake iris database show that our algorithm can effectively exclude printed images, artificial eyes and colored contact lenses and the execution time can meet the requirements of the real-time applications.

Key words: multi-spectral images; liveness detection; conjunctival vessel detection; wavelet packet decomposition

1 引言

当前兴起的生物特征识别技术通过利用人体生理或行为特征, 实现了自动身份鉴别. 虹膜纹理具有高度的随机性和唯一性, 使用这种特征能取得最高的识别精度^[1]. 然而, 一系列实验表明虹膜识别系统很容易错误接收打印的虹膜图像、人造眼和彩色隐形眼镜等伪造虹膜. 因此, 为了提高识别系统的安全性, 需要检测输入虹膜的活性. Daugman^[2]提出通过检测人眼瞳孔伸缩、角膜反射等来判断虹膜真伪. 此外, 利用 Purkinje 反射成像来判断虹膜活性的方法也被发展^[3]. Lee 等^[4]从近红外波段的 750 nm 和 850 nm 图像中提取特征来分类真假虹膜; Park 等^[5]将波长 750 nm 和 850 nm 的多光谱图像融合后再根据匹配结果来鉴别伪造虹膜. 但由于这些方法没有考虑到周围光照对虹膜反射特性的影响或事先假定注册阶段的虹膜样本来自活体, 检测能力存在局限.

本文提出在 480 nm 和 860 nm 同时采集虹膜, 由于

活体人眼的多光谱特性, 巩膜区域的结膜血管会从出现变成消失, 而且虹膜纹理细节也会相应的发生变化. 根据这两种能表征人眼活体的现象, 本文发展了专门的血管提取算法来跟踪血管变化, 以小波包分解为基础来描述纹理的形状变化. 提取的 RNCV 和 ERIT 特征反映了活体虹膜的内在生理结构和特性, 可以有效地排除各种类型的伪造虹膜.

2 结膜血管特征提取

结膜为覆盖在眼睑内表面和眼球巩膜表面的一层透明的薄膜, 里面包含许多毛细血管. 这些血管中的血红蛋白在绿光和蓝光波段对光有最大的吸收率, 而对近红外光有较大的反射率^[6]. 在一定波长可见光照射下, 结膜血管清晰可见. 当光源波长从 480 nm 变换到 860 nm 时, 活体人眼的结膜血管将从密集地分布在虹膜周围 (如图 1(a)所示) 变成不可见状态 (如图 1(b)所示), 而打印图像和人造眼等类型的伪造虹膜则不会出现这种

现象.为了利用这种多光谱特性,需要先确定包含结膜血管的有效区域.虹膜的外边缘可认为是标准圆形,使用 Canny 算子进行边缘检测得到二值边界图后,再利用 Hough 变换确定圆的参数^[7].在定位外边缘后,为了防止眼睑和睫毛遮挡,使用文献[8]中的方法去除这些噪声.最后,选取紧靠虹膜外边缘左右两侧 64×64 的两个区域进行血管检测,通常这些区域含有较丰富的结膜血管.

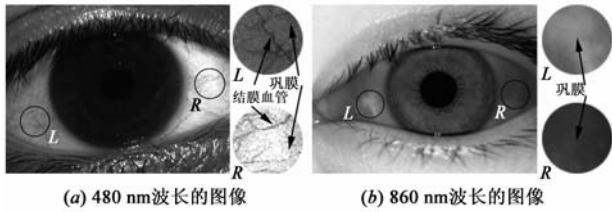


图1 多光谱虹膜图像(L和R分别表示左右两侧对应的区域)

在定位区域后(如图 2(a)所示),使用 3×3 的中值滤波器和 2-D 维纳滤波器对图像进行预处理(如图 2(b)所示),滤除散粒噪声和高频噪声.由于拍摄到的结膜血管经常有低对比度,使用一种 2-D 多尺度滤波器^[9]对线状的血管进行增强.滤波过程就是使用一个判决函数来决定每个像素点是属于血管还是背景噪声.设计的判决函数如下所示:

$$V(s) = \begin{cases} 0, & \lambda_1(s) \text{ 或 } \lambda_2(s) > 1 \\ \exp(-\frac{\lambda_1^2}{\lambda_2^2}) \cdot (1 - \exp(-\lambda_1^2 - \lambda_2^2)), & \text{其它} \end{cases} \quad (1)$$

其中: λ_1 和 λ_2 是 Hessian 矩阵在像素点 x_0 处计算的两个实特征值^[7]. Hessian 矩阵定义如下:

$$H(x_0, s) = \begin{pmatrix} I_{xx}(x_0, s) & I_{xy}(x_0, s) \\ I_{xy}(x_0, s) & I_{yy}(x_0, s) \end{pmatrix} \quad (2)$$

其中: $I_{xx}(x_0, s)$, $I_{yy}(x_0, s)$ 和 $I_{xy}(x_0, s)$ 是高斯函数二阶偏导与图像 I 在点 x_0 处的卷积. s 代表图像中结膜血管的尺度.由于血管粗细不同, s 的取值范围要能包括所有的血管,根据结膜血管的分布情况,选取的范围为 $[0.2, 2.5]$. 函数 $V(s)$ 对每个像素点的最大响应输出就是估计出的血管.最后输出结果如下所示:

$$E(s) = \max_{s_{\min} \leq s \leq s_{\max}} V(s) \quad (3)$$

其中: s_{\max} 和 s_{\min} 是被期望增强的血管的最大和最小的尺度.

在感兴趣区域内逐点计算,增强的结膜血管如图 2(c)所示.由于增强后的血管可能会被存在的斑块等噪声包围,为了得到更好的血管结构,对图像进行二值化,整个血管网络就能被完全分离出来(如图 2(d)所示).使用各段血管的交叉点和端点的数量来度量血管的数目.为了得到这些特征点,需要首先对血管网络进行细化操作,成功提取出整个血管结构(如图 2(e)所

示).再使用一个如下形式所示 3×3 的操作算子对图像进行逐点操作来提取所有的特征点.最后提取出的特征点如图 2(f)所示,十字符号表示提取出的交叉点,方块符号表示提取的端点.

P_1	P_2	P_3
P_8	P_0	P_4
P_7	P_6	P_5

如果 P_0 是 1,并且穿越数 N_{trans} 大于等于 6,则 P_0 就是所要找的交叉点,这个过程可以如下式表示:

$$N_{trans} = \sum_{i=1}^8 |P_{i+1} - P_i|, \quad \text{其中 } P_9 = P_1 \quad (4)$$

设 $N_P(\lambda_{480})$ 和 $N_P(\lambda_{860})$ 分别表示在 480 nm 和 860 nm 波长的区域图像中提取的端点和交叉点总数.结膜血管越多,提取的特征点数目就越大.定义的 RNCV 特征为:

$$F_{RNCV} = N_P(\lambda_{480}) - N_P(\lambda_{860}) \quad (5)$$

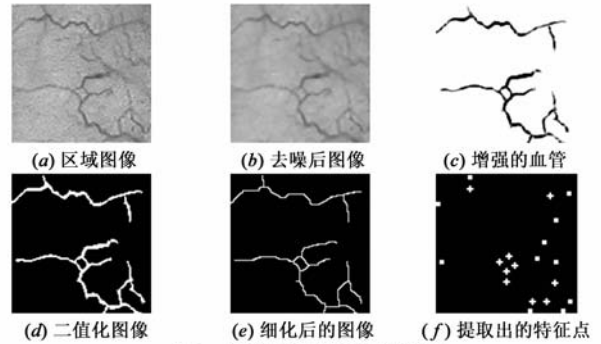


图2 结膜血管特征提取过程

3 纹理熵比计算

活体虹膜的光谱特性主要由内部的黑色素数量决定,波长 860 nm 的近红外光能穿透虹膜,而波长 480 nm 的蓝光则会被反射.因此,图像中虹膜纹理在不同波长的光源照射下外观形状会发生改变.当波长从 860 nm 到 480 nm 时,局部纹理细节将减少,纹理的灰度趋向一致(如图 3 所示).各种类型的伪造虹膜通常由非生物材料制成,当光源波长变化时,纹理并不会发生任何改变,可以通过分析虹膜的纹理变化来鉴别伪造虹膜.

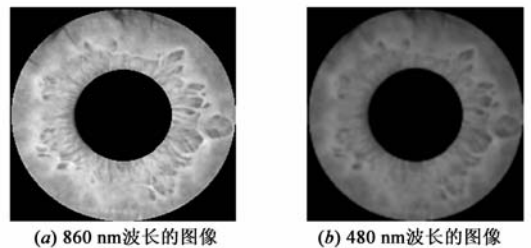


图3 同一只眼的虹膜纹理多光谱特性

虹膜纹理能被认为是高度随机的二维信号^[10],为了精确地描述纹理的变化,使用小波包变换来分析.小波包分析是一种更精细的信号分析方法,可以将高频部分继续分割,克服了小波分析中高频部分频域分辨

率差的缺点,在刻划信号的特征方面更有优势^[11].对虹膜纹理应用小波包分解,能对纹理细节更好表示.小波包分解过程使用如下公式描述:

$$\begin{cases} 2^{\frac{p-1}{2}} W_{2n}(2^{p-1}x - l) = \sum_m h_{m-2l} 2^{\frac{p}{2}} W_n(2^p x - m), \\ 2^{\frac{p-1}{2}} W_{2n+1}(2^{p-1}x - l) = \sum_m g_{m-2l} 2^{\frac{p}{2}} W_n(2^p x - m). \end{cases} \quad (6)$$

其中: p 是比例系数, l 是平移系数, $\phi(x)$ 是尺度函数, $\Psi(x)$ 是基小波.离散滤波器 h_k 和 g_k 是镜像滤波器.

由于虹膜包含丰富的细节特征,虹膜纹理的能量和信息主要集中在中高频段.为了更有效的分析虹膜纹理变化,在定位出虹膜的内外边缘后,取虹膜下半圆部分作为感兴趣区域.为了消除瞳孔伸缩引起的纹理形变,使用弹性形变模型^[1]把区域图像归一化为 64×512 .对定位出的区域使用 Haar 小波作为基波,进行一级小波包分解,共生成 4 个子图: LL_1 (低频系数), LH_1 (水平系数), HL_1 (垂直系数), HH_1 (对角系数).继续进行二级小波包分解,共生成 16 个子图,如图 4 所示.

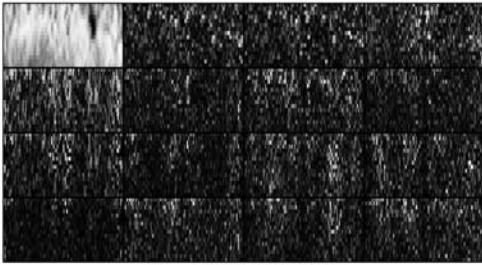


图4 小波包分解结果

虹膜纹理的细节主要集中在子图 HL_2^h (HL_1 的水平低频和垂直低频系数) 和 HL_2^v (HL_1 的水平高频和垂直高频系数) 中.使用这两个子图来计算虹膜纹理的熵,熵值定义如下:

$$E = - \left[\sum_{i=0}^{255} p_A(i) \ln p_A(i) + \sum_{j=0}^{255} p_V(j) \ln p_V(j) \right] \quad (7)$$

其中: $p_A(i)$ 是子图 HL_2^h 中强度值 i 的概率值, $p_V(j)$ 是子图 HL_2^v 中强度值 j 的概率值.

设 $E(\lambda_{480})$ 和 $E(\lambda_{860})$ 分别表示 480 nm 和 860 nm 的区域图像中计算的熵值,纹理细节越丰富,熵值就越大.定义的 ERIT 特征为:

$$F_{ERIT} = E(\lambda_{860}) / E(\lambda_{480}) \quad (8)$$

4 实验结果及分析

为了测试提出方法的性能,建立了包含各类伪造虹膜和活体虹膜的数据库.实验时,使用多光谱摄像系统采集 480 nm 和 860 nm 波长的图像(如图 5 所示),采集的虹膜图像是 640×480 的 8 位灰度图像.数据库包括 1000 对活体虹膜图像,600 对打印虹膜图像,200 对

人造眼图像和 200 对佩带彩色隐形眼镜图像.实验算法用 VC++ 6.0 编写,在配置为 Petium2.0GH CPU, 1G DRAM 的计算机上运行.

为了提高检测性能,将特征值 F_{RNCV} 和 F_{ERIT} 组成一个特征向量 F .使用 SVM 分类提取的特征向量,共提取了 2000 个特征向量,使用一半的标记样本训练 SVM,获得的决策边界可以 100% 正确地分类伪造虹膜和活体虹膜.为了评估检测精度,



图5 多光谱虹膜采集系统

根据分类结果计算错误接受率 (FAR) 和错误拒绝率 (FRR).实验结果如表 1 和 2 所示,由打印图像和人造眼计算出的 F_{RNCV} 值为 0, F_{ERIT} 值约为 1,而活体样本计算出的两个特征值都很大,因此 FAR 和 FRR 都为 0%;佩带彩色隐形眼镜时能拍摄到部分真实虹膜纹理,因此少数此类样本计算出的 F_{ERIT} 值会落入活体样本的取值范围内, FAR 和 FRR 并不是理想的 0%.

表 1 分类精度

图像集	打印图像(%)		人造眼(%)		隐形眼镜(%)	
	FAR	FRR	FAR	FRR	FAR	FRR
测试样本	0	0	0	0	0.18	0.1

表 2 运算时间

	F_{RNCV}	F_{ERIT}	SVM 决策
平均时间(ms)	125	63	2

选择 An^[12]和 Park^[5]的方法与本文方法对比,随机选取数据库中 1/3 的样本,为了度量每种方法的精度,输出的接收工作曲线(ROC)如图 6 所示,可得出每种方法的等错误率(EER),值越小就说明检测精度越高.由图可知,本文提出的方法取得了最高的伪造虹膜检测精度.

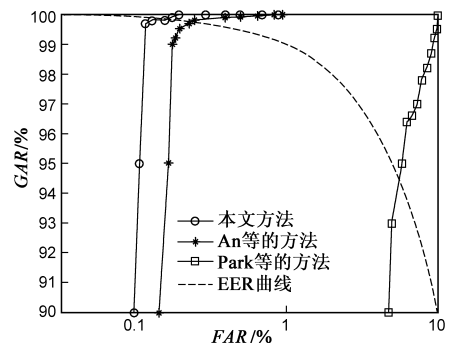


图6 各种方法的ROC曲线比较

5 结论

本文提出利用人眼的多光谱特性检测虹膜活性,从 860 nm 和 480 nm 波长的虹膜图像中提取了 RNCV 和 ERIT 两种特征.计算出的特征向量反映了虹膜的内部结构和性质,SVM 分类器可以有效分类活体虹膜和各种伪造虹膜.这种方法检测期间不需要用户作严格配合,具有非侵犯性.检测过程耗时 190ms,能满足实时需要.相比其它方法,本文方法取得了最高的检测精度,EER 为 0.12%.

参考文献

- [1] Daugman J. How iris recognition works[J]. IEEE Trans Circuits Syst Video Technol, 2004, 14(1): 21 – 30.
- [2] Daugman J. Iris recognition, anti-spoofing countermeasures [A]. 7th International Biometrics Conference Proceedings [C]. London: IEEE Press, 2004. 1 – 10.
- [3] Lee E, Ko Y, Park K. Fake iris detection method using Purkinje images based on gaze position[J]. Opt Eng, 2008, 47(6): 1 – 16.
- [4] Lee S, Park K, Lee Y. Multifeature-based fake iris detection method[J]. Opt Eng, 2007, 46(12): 1 – 10.
- [5] Park J, Kang M. Multispectral iris authentication system against counterfeit attack using gradient-based image fusion[J]. Opt Eng, 2007, 46(11): 1 – 14.
- [6] S Iosif, P Sergey, K Peter, et al. Optical method for analysis of eye conjunctiva microcirculation [A]. Optoelectronic and Hybrid Optical/Digital Systems for Image and Signal Processing [C]. USA: SPIE Press, 2001. 124 – 130.
- [7] 苑玮琦, 张雷, 柯丽. 基于多子区域联合的高适应性虹膜识别算法[J]. 电子学报, 2009, 37(5): 981 – 986.
Yuan Wei-qi, Zhang Lei, Ke Li. An iris recognition algorithm of high adaptability based on multiple region combination[J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(5): 981 – 986. (in Chinese)
- [8] 田启川, 刘正光, 潘泉, 等. 基于稳定特征的虹膜分类算

法[J]. 电子学报, 2008, 36(4): 760 – 766.

Tian Qi-chuan, Liu Zheng-guang, Pan Quan, et al. Iris classification algorithm based on stable features[J]. Acta Electronica Sinica, 2008, 36(4): 760 – 766. (in Chinese)

- [9] Frangi A, Niessen W, Vincken K. Multiscale vessel enhancement filtering[J]. Lecture Notes in Computer Science, 1998, 1496(1): 130 – 137.
- [10] 姚鹏, 叶学义, 庄镇泉, 等. 基于局部频率特征和局部方向特征的虹膜识别算法[J]. 电子学报, 2007, 35(4): 663 – 667.
Yao Peng, Ye Xue-yi, Zhuang Zhen-quan, et al. An iris recognition algorithm combining local frequency features with local orientation features[J]. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(4): 663 – 667. (in Chinese)
- [11] Laine A, Fan J. Texture classification by wavelet packet signatures[J]. IEEE Trans PAMI, 1993, 15(11): 1186 – 1191.
- [12] 安树娟, 何孝富, 施鹏飞. 一种基于小波包分解的虹膜防伪检测方法[J]. 测控技术, 2008, (06): 9 – 11.

作者简介



陈 瑞 男, 1980 年出生于山西岚县. 清华大学博士生. 主要研究方向为生物特征识别技术.

E-mail: chen-r03@mails.tsinghua.edu.cn



孙靖宇(通信作者) 男, 1975 年出生于山西太原. 太原理工大学计算机科学与技术学院软件工程系讲师. 主要研究方向为智能信息处理与生物特征识别技术.

E-mail: sunjingyu@tyut.edu.cn