

图像对比度增强的光学指纹实时识别系统*

陈鹤鸣^a 刘 昊^b 张爽斌^a

(^a 南京邮电学院, 南京, 210003) (^b 武汉邮电科学研究院系统部, 武汉, 430047)

摘要: 提出采用光学高通滤波器和直角三棱镜组成实时指纹输入装置, 对 F. T. Gamble 等人提出的实时指纹输入装置作出了重大改进, 大大增强了实时指纹输入图像的对比度。实验结果表明, 采用该装置组成的实时指纹识别系统, 具有识别速度快、精度高和装置比较简单等优点, 有较高的实用价值。

关键词: 高通滤波器 指纹识别

Real-time fingerprint verification system with pattern contrast enhancement

Chen Heming^a, Liu Hao^b, Zhang Shuangbin^a

(^aNanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing, 210003)

(^bWuhan Institute of Posts and Telecommunications, Wuhan, 430047)

Abstract: In this paper, we present a new real-time input arrangement which combines the 90° prism and the high pass filter. The contrast of the fingerprint pattern introduced by the presented input arrangement is far higher than that introduced by the prism. The real-time fingerprint verification system with proposed input arrangement is demonstrated, and the experimental results show that it has a lower false-match rate and it is simple, practical and inexpensive.

Key words: high pass filter fingerprint verification

* 江苏省科委资助。

电磁干扰小, 零电流开关方式使得功率管开关损耗近似为零, 可以明显提高激光电源的工作频率, 以获得高的调制脉冲输出。因此, 谐振变换技术应用于高功率轴快流 CO₂ 激光器中具有独特的优势, 代表了高功率激光电源发展的方向。通过零电流开关准谐振变换器的模型建立和计算仿真分析可以为实验提供可靠的技术参数和理论波形。

参 考 文 献

- 1 彭晓原, 李适民. 激光与红外, 1996; 26(3): 203~ 205
- 2 Mathew A V. IEEE Proceedings, 1989; 136(2): 99~ 104
- 3 王 聪. 软性开关逆变电路及其应用. 北京: 机械工业出版社, 1993

作者简介: 彭晓原, 男, 1968 年出生。硕士研究生。现在华中理工大学激光加工国家工程研究中心, 主要从事激光技术和功率电子学方面的研究工作。

李适民, 男, 1938 年出生。博士生导师, 教授。主要从事高功率激光技术和激光加工等方面的研究工作。

引 言

实时指纹识别系统对于个人身份鉴别、智能卡的应用和重要场所的保卫具有重要意义。实时指纹的光学相关识别具有识别迅速、可靠性高等优点,许多科学工作者对此作了有益的研究^[1~3]。实时指纹相关识别系统主要有二类:光电混合识别^[4]和光学相关识别^[5]。光电混合识别所用装置复杂,识别不够迅速;光学相关识别装置简单,识别迅速。不管是光电混合识别还是光学相关识别都需要实时指纹输入装置,F. T. Gamble^[5]等提出用等腰直角三棱镜作为实时指纹输入装置,这种输入装置简单、实用、经济,可是,利用该装置得到的指纹图像对比度太低,指纹信息几乎淹没在背景光中,非常容易造成识别系统的误判。文献[4]提出采用二次微分边缘提取算法对指纹进行预处理,但是,这不适用于光学相关识别。我们提出采用光学高通滤波方法对这种指纹图像进行预处理,从而大大增强了指纹图像的对比度,减小了实时识别系统的误判率。我们首先对高通滤波的原理进行了简单分析,然后对改进的实时指纹识别系统进行了描述,最后给出了实验结果。

一、理 论 分 析

考虑一个光学模式识别中常用的 $4f$ 系统(如图 1 所示),将指纹图像 $\varphi(x_i, y_i)$ 置于 $4f$ 系统的输入面上,该图像发出的光波经过第一个傅里叶变换透镜 L_1 的变换,在频谱面上得到指纹图像的频谱:

$$\Phi(f_x, f_y) = F\{\varphi(x_i, y_i)\} \quad (1)$$

式中, F 表示傅里叶变换, $f_x = x_F / (\lambda f)$, $f_y = y_F / (\lambda f)$ 分别是 x -方向和 y -方向的空间频率。对于指纹图像的频谱 $\Phi(f_x, f_y)$ 来说,它主要由二部分组成:一部分是指纹信息,相对于背景光而言,它是高频分量;另一部分是背景光,它是低频分量,即

$$\Phi(f_x, f_y) = \Phi_L(f_x, f_y) + \Phi_H(f_x, f_y) \quad (2)$$

在频谱面上放置一高通滤波器滤掉(2)式中的低频分量 $\Phi_L(f_x, f_y)$,经高通滤波器滤波后的指纹图像的频谱由

$$\Phi_H(x_o, y_o) = F^{-1}\{\Phi_H(f_x, f_y)\} \quad (3)$$

将 $\Phi_H(x_o, y_o)$ 作为实时指纹识别系统的输入图像,并用它制作光学匹配滤波器,根据光学模式识别原理,当输入指纹图像与光学匹配滤波器匹配时,在识别系统的输出面上得到自相关图像,其中心为亮斑;当输入指纹图像与光学匹配滤波器不匹配时,在识别系统的输出面上得到互相关图像,其中心为暗斑,由此可将各人的指纹加以识别。

二、实 验 系 统

采用图像对比度增强的光学实时指纹识别系统主要由两部分组成,一是图像对比度增强的实时指纹输入装置,二是光学相关指纹识别系统。

1. 图像对比度增强的实时指纹输入装置

图像对比度增强的实时指纹输入装置由等腰直角三棱镜、 $4f$ 光学系统和高通滤波器组成,如图 1 所示。利用等腰直角三棱镜的全反射特性,可以获得实时指纹图像。当平行光线从

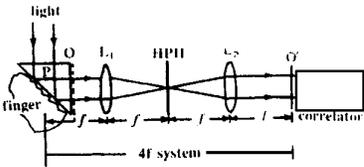


Fig. 1 Modified fingerprint real-time input arrangement
HPF- high pass filter P- Prism

等腰直角三棱镜的一直角边以大于临界角的入射角入射到棱镜的斜面上,光线将发生全内反射,若将手指按在等腰直角三棱镜的斜面上,全内反射的光发生变化,使其带有指纹信息,由于背景光较强,在棱镜后面(图1中O处)得到的指纹图像对比度较差,如图2a所示。透镜 L_1 和 L_2 组成一个 $4f$ 系统,HPF为高通滤波器,O'处的指纹图像经高通滤波器后,背景光基本消除,在O'处得到对比度增强的指纹图像,如图2b所示。为了确保试验者每次按指纹时不发生大的旋转,在等腰直角三棱镜的斜面上装了一限位装置。

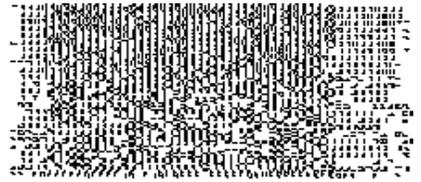


Fig. 2 Photo of fingerprint
a—before high pass filter b—after high pass filter

2. 高通滤波器直径大小的估算

高通滤波器由一块薄玻璃片在中间涂上一个黑色小圆点构成。圆点直径的大小对于高通滤波的质量尤其重要,圆点直径太小,背景光不能完全滤除;圆点直径过大,将滤掉指纹信息,也会造成误判。因此,有必要估算高通滤波器直径的大小。为了简化计算,考虑到指纹纹线具有:(1)纹线多为平滑的弧线,很少有锐变部分;(2)纹线之间的间距比较均匀;(3)纹线之间多为互相平行,很少有交叉现象这些特点,在一维空间中,把指纹纹线的作用近似看作一个一维光栅,全透光宽度为 a ,周期为 d 。取手指的宽度为15mm,测得指纹纹线的周期 d 约为0.45mm,光源波长为632.8nm,透镜 L_1 和 L_2 的焦距均为302mm,根据这些数据可算得滤掉零级谱保留一级以上谱的高通滤波器直径为 $34\mu\text{m} \leq D \leq 847\mu\text{m}$ 。

3. 图像对比度增强的光学指纹实时识别系统

图像对比度增强的光学指纹实时识别系统如图3所示,图3中 L_3, L_4 组成第二个 $4f$ 系统,它们是傅里叶变换透镜,焦距也为302mm,参考光只在制作指纹的匹配滤波器(MSF)时需要,而在指纹识别时应当把它挡掉。光功率计(PM)的探头放在第二个 $4f$ 系统的输出面 P_4 上,用来检测相关图像中心点的光强。

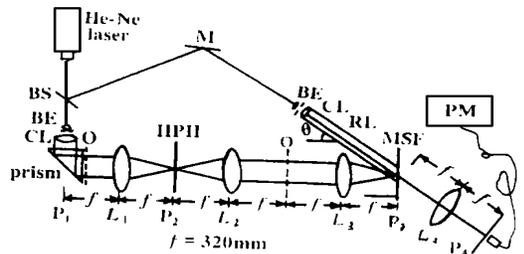


Fig. 3 The diagram of experimental set up

四、实验结果与讨论

应用图3所示的图像对比度增强的光学指纹实时识别系统,笔者进行了以下的实验:

(1) 不使用高通滤波器:在图3中去掉高通滤波器(BPF),制作指纹的匹配滤波器和进行指纹相关识别,用光功率计分别测量原手指的自相关点光强和不同手指的互相关点光强,测量结果示于表1中。

(2) 应用高通滤波器:应用图3的实验系统,制作指纹的匹配滤波器和进行指纹相关识别,用光功率计分别测量原手指的自相关点光强和不同手指的互相关点光强,测量结果示于表2中。实验中所用He-Ne激光器的功率为15mW,高通滤波器小圆点的直径为 $291\mu\text{m}$ 。

在表1和表2中,原手指的自相关点光强用 P_0 表示,不同手指的互相关点光强用 P_1 表示,定义比较系数 $\eta = (P_0 - P_1) / (P_0)_{\text{max}}$,显然, P_0 与 P_1 的差值越大, η 越大,误判的概率就

越小,识别效果就越好。考虑两种极端情况,在表 1 中,可以得到

$$\eta_{\min 1} = [(P_0)_{\min} - (P_1)_{\max}] / (P_0)_{\max} = (0.142 - 0.157) / 0.168 \approx -0.09$$

$$\eta_{\max 1} = [(P_0)_{\max} - (P_1)_{\min}] / (P_0)_{\max} = (0.168 - 0.111) / 0.168 \approx 0.34$$

Table 1 (COL correlation output light)

times	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
original finger(P_0)	0.143	0.145	0.142	0.162	0.150	0.166	0.168	0.162	0.162	0.159	0.162
COL power(μW)											
others(P_1)	0.128	0.125	0.124	0.157	0.135	0.136	0.127	0.111	0.128	0.125	0.142
COL power(μW)											

Table 2 (COL correlation output light)

times	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
original finger(P_0)	64.5	66.5	75.5	62.5	60.2	74.5	60.0	72.5	72.5	64.5	67.5
COL power(nW)											
others(P_1)	36.8	45.6	39.6	34.9	25.4	24.7	25.4	29.2	36.8	30.3	26.3
COL power(nW)											

在表 2 中,可以得到 $\eta_{\min 2} = [(P_0)_{\min} - (P_1)_{\max}] / (P_0)_{\max} = (60.0 - 45.6) / 75.5 \approx 0.19$

$$\eta_{\max 2} = [(P_0)_{\max} - (P_1)_{\min}] / (P_0)_{\max} = (75.5 - 24.7) / 75.5 \approx 0.67$$

从上面的计算可知,未用高通滤波器时, η 在 -0.09 和 0.34 之间,很明显,当 η 值小于零时,识别系统肯定有误判发生,而且 η 值越小,发生误判的概率越大,因此,识别效果很不好;而当使用高通滤波器后, η 值在 0.19 到 0.67 之间,与未用高通滤波器时比较, η 值大大增加,发生误判的概率显著降低,识别效果明显提高。与一般的光学相关识别系统一样,输入指纹旋转对指纹识别的影响还是存在的(见表 2)。由于实验中在等腰直角三棱镜的斜面上装了一限位装置,其影响得到了有效的抑止,只要选择合适的判决阈值,即可消除误判。

五、结 论

从以上的实验结果可以看出,采用高通滤波器和等腰直角三棱镜相结合组成的实时指纹输入装置,可以显著地提高指纹图像的对比度。我们所提出的采用图像对比度增强的光学指纹实时识别系统,装置比较简单、经济、实用性强,实验表明其识别效果好、识别精度高,在实验中没有出现过误判。尽管这个实验装置应用二个 $4f$ 系统,增加了系统结构的长度,但是,这可以通过适当缩短变换透镜的焦距,或采用优化光路设计来解决,因此,该实验系统仍具有很高的实用价值。

参 考 文 献

- 1 Broussaud G. Automatisme, 1970; 15: 459~ 469
- 2 Eleccion M. IEEE Spectrum, 1973; 10(1): 36~ 45
- 3 Fry L M, Gamble F T, Grieser D R. Bull Am Phys Soc, 1990; 35: 1866
- 4 苏红军,陈学文,陈桢培 *et al*. 光学学报, 1996; 16(1): 92~ 95
- 5 Gamble F T, Fry L M, Grieser D R. Appl Opt, 1992; 31: 652~ 655

* * *

作者简介:陈鹤鸣,男,1958年4月出生。副教授,硕士生导师。主要从事计算全息技术在通信中的应用研究。