

非接触式指纹采集与识别的研究

李 博

(东华大学理学院, 上海 200051)

摘 要: 为了构建一个结构紧凑、实时、高效、小型的指纹采集识别系统, 提出了非接触式光学采集方法。即采用激光或非相干光源, 利用激光透射、扫描和非相干光照射, 通过超半球浸没透镜和双胶合透镜等组合的光学系统, 运用光学非接触式方法实现完整、清晰的指纹图像的采集, 这种方法有效地避免了接触式所造成的指纹的旋转、扭曲和变形, 提高了采集图像的质量。从而为利用空间光调制器实现指纹的实时傅里叶相关识别提供了有效的保证。

关键词: 实时傅里叶相关识别; 非接触式采集; 指纹; 超半球浸没透镜; 空间光调制器

中图分类号: O438

文献标识码: A

文献编号: 1006-1231(2004)03-0058-04

Study on Indirect-contact Collection and Identification of Fingerprint Images

LI Bo

(College of Basic Sciences, Donghua University, Shanghai 200051, China)

Abstract: In order to construct a compact, real-time, high efficient, small-scale fingerprint collection-identification system, a new method of fingerprint indirect-contact collection was proposed. Laser or incoherent light source was adopted and the principle of laser transmission, scan and incoherent light irradiation were applied in the experiment. The integrity clear fingerprint image was indirect-contact collected by using optical system that was consisted of super-hemisphere-immersion lens and pair of veneer lens. The approach avoids fingerprint rotation, distortion and out of shape effectively caused by direct-contact method and improves image quality. Thus the approach offers the effective assurance that utilize spatial light modulator can realize real-time Fourier correlate identification of fingerprint.

Key words: real-time Fourier correlate identification; indirect-contact collected; fingerprint; super-hemisphere immersion lens; spatial light modulator

1 引 言

指纹是人可以终生携带保持不变的生物特征, 利用指纹的唯一性与不变性对人进行性状分析和个体识别, 是医学、遗传学、军事情报和刑侦等领域广泛采用的一个很重要的方法。运用非接触式采集指纹方法尽可能提高采集图像的质量是实现精确识别的关键。现有的系统都是将提取的模糊指纹图像送入计算机由软件进行数字化处理, 使其变得清晰, 突出纹理, 但是进行图像数字化处理是很费系统资源的, 十分费时, 更重要的是精度由主机的运算能力控制, 存在运算误差, 会损失个别指纹的辅助特征, 使图像失真。

本文采用超半球透镜和双胶合透镜组成的光学系统, 利用激光透射、扫描和非相干光照射实现非接

触式采集。这种方法克服了接触式采集指纹经全反射棱镜后产生图像压缩的问题, 并且由于无需摁印, 有效地避免了指纹的旋转、扭曲和变形, 提高了采集图像的质量。并且无论是采用相干光还是非相干光照明都明显缩短了光路, 真正实现了采集装置体积小化, 以适应更广阔的市场需要。

在识别方法上本文采用的是实时相关识别。它主要是利用实时二元联合变换系统进行两次傅里叶变换实现相关运算, 由相关结果中相关位置是否存在明显亮斑的分析, 对输入指纹与目标指纹进行判别。它无需提取特征而直接利用相关进行分类, 且无需对图像进行预处理, 直接利用灰度图像进行分类, 采用最大相关性进行匹配。但这种识别方法对指纹图像的质量要求较高, 所以若采用接触法采集势

收稿日期: 2003-04-27

修改日期: 2004-03-01

必会增加识别的精度和难度,而非接触法采集则可有效避免这一问题。

2 光学方法采集指纹的研究

2.1 接触式光学采集

采集主要是将物理指纹图像转换成数字表达的形式,即通过适当的手段获得指纹图像,并将其以数字化矩阵的形式存储。光学方法是首先经光学采集器及 CCD 器件将光信号转换成电信号,再经数字化成为 $m \times n$ 个像素的空间矩阵,每个像素的数值为该点的灰度值。只有将采集到的数字化图像的数据进一步预处理,测量能够表达指纹的参数,并将测量结果进行匹配,才能做出“是”与“不是”的判断,完成最终的识别过程。

光学采集方法大多用接触式,通过棱镜利用光的全反射原理来实现。假设光线从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,光线将发生全反射。若将手指按在棱镜的斜面上,并稍用力使之与棱镜表面精密接触,这时手指上的自然分泌物就充当了良好的粘结剂,与棱镜表面紧密接触的指纹的波峰部分破坏了光线的全反射条件,而没有紧密接触的指纹的波谷部分,光线仍是全反射的,这样从反射光线中就得到较清晰的指纹图像。

接触式采集系统光学设计采用相干光,即激光照明,利用了激光的高强度和照明均匀的特性,但在应用中会遇到下面的问题:

(1) 相干噪声

由于所用光源为激光,系统直接对棱镜反射回来的指纹图像进行傅里叶变换,这是相干光学处理,总有相干噪声出现,其主要来源是按指纹的棱镜表面不总是干净。这就要求每次都细心擦拭干净,方可减少噪声。

(2) 误判率高

易丢失很重要的位相信息,使相近指纹的探测结果在特征空间中非常靠近,难于鉴别。此外,噪声和各种畸变因素的干扰,使同一手指上的指纹多次重复的结果在特征空间散布在很大的范围内,要把不同手指上的指纹图像分开会导致很大的误判率^[1]。

2.2 非接触式光学采集

为了提高系统的精确度,避免每次输入指纹需擦净棱镜表面的麻烦,从而进一步改善图像的质量,本文对非接触式光学采集方法进行了有益的尝试。首先采用非相干光源获取指纹图像,为了不使光学系统产生色差,用单色红光($\lambda = 766 \text{ nm}$)对手指进行照明。为了实现有效的均匀照明,并且降低系统成本满足对工作环境的要求,采用面阵发光二极管作为光源。同时将整个提取仪密封,一方面防止杂散光进入,另一方面使提取仪看起来紧凑、美观。

我们将接触式采集法中的对称双胶合透镜组换成超半球浸没透镜组合,为便于调节和缩短光路,又

在 CCD 光敏面前装上小的调焦镜头。然后去除全反射棱镜,缩小原有卡槽的面积,使其限制在刚好容纳一个手指指肚的范围。这样等于设置了一个有效面积的阈值,无需再考虑手指和指纹的大小,解决了接触式方法中手指与全反射棱镜接触面积的改变和摁印时产生的伸缩变形,从而大大地降低了失真度。

图 1 是改进后的非接触式指纹提取仪的剖面图。整个装置主要由采集卡槽、双胶合透镜、标准超半球浸没透镜、CCD 摄像头、面阵发光二极管、毛玻璃、驱动电路、电源、图像采集卡、视频输出线等组成。

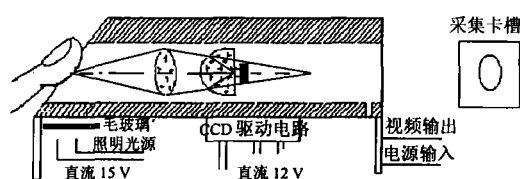


图 1 非接触式非相干光源指纹提取仪装配图

Fig.1 Indirect-contact coherent optics collection device

指纹采集的原理如图 1 所示,面阵发光二极管发出的光线经过毛玻璃后,以 45° 入射角均匀照在手指(一般采食指)所在采集卡槽的位置上,这时手指成为一发光物体,手指上各点发出的光线先后经过一个双胶合透镜,再经过一超半球浸没透镜,最后会聚成像于其后的面阵 CCD 光敏面上,CCD 把光信号变成电信号,然后经图像采集卡将模拟信号 A/D 转换成二进制信息后存入计算机里进行处理和识别。

由于光路的缩短,手指与透镜的距离已很靠近,光照影响到透镜造成背景光干扰,从而产生噪声影响指纹图像的采集。为克服这一局限,我们用一对称于卡槽斜面的 45° 反光镜使光路发生偏折,并改变水平方向的棱镜为垂直方向,在垂直方向成像,这样能保证手指光照的均匀性。但根据实际实验采集图像效果并兼顾光路长短考虑,决定适当缩小光照面积,既满足光照的均匀度又达到最佳指纹图像的目的。

而后,我们又用相干光作光源,即小型的半导体激光二极管,波长为 $630 \sim 680 \text{ nm}$,最大输出功率为 5 mW 。在接触式采集法中,我们曾论述过相干光的缺陷,如棱镜表面的洁净程度。但在非接触式采集法中,由于去除了棱镜,减弱了相干噪声,充分发挥了激光的准直聚焦、高强度和照明均匀的特性,同样获取噪声小、清晰度高、失真率低的指纹图像。为避免中心区指纹的光照度过强,我们利用激光的透射性能,在手指背面照射,实现其光照的均匀。

2.3 电容式传感器采集

此外,本文对半导体电容式传感器采集指纹的方法也进行了研究。利用半导体技术采集指纹图像的装置是由一个包含 300×300 传感器阵列的半导体硅片和与其相连的微处理器组成。传感器阵列元件

是用标准数字的 $0.5\ \mu\text{m}$ CMOS 处理技术制作的, 这种传感器可以获取 90000 个字节、500-DPI 的指纹图像。其内部具有集成的数模转换器使传感器阵列的输出数字化, 8 位双向总线接口可以与大多数微处理器相兼容 [2]。

传感器的传感阵列由二维阵列的金属电极组成, 每个电极充当一个电容的极板, 与传感器相连的手指充当另一个极板, 钝化层在两极板间形成绝缘。当手指接触传感器表面时, 由于指纹与传感器之间存在压力的不同, 使得指纹的峰与谷通过阵列产生不同的电容值。而电容值的测量又是通过电压值来体现, 因此测量并记录各点的电压值就可以获得指纹的灰度级图像。

从总体上讲, 电容式指纹传感器高度集成化、内置数字化、精度高, 且体积小、功率低、抗磨损、防静电, 其硅片的市场开发更为乐观, 是具有一定发展前景的新产品。但由于它所采用的仍然是接触式方法, 不可避免地会产生畸变, 增加了预处理的难度, 相应地影响到识别率的提高。而非接触式光学采集系统结构简单、图像清晰、技术含量较低, 无疑为提高系统性能、改善图像质量提供了新的思路。在长远开发上将向离体式方向发展, 能满足更广泛市场的需求。

图 2 是三种指纹采集方法所获得的图像对比。从采集的指纹图像中, 可以看到非接触式指纹采集系统是成功的, 指纹图像清晰、失真小、无畸变, 有利

于提高图像预处理的质量, 最终实现精确的识别, 从理论设计到实验都是合理的。

3 指纹采集光路的像差计算与分析

用 Spindler & Hover Winlens 4.1 光路设计软件做出了像差分析图表 (表 1), 具体的、烦琐的光路计算过程和最后结果体现在其中。

通过分析和计算可知, 无论对接触式采集方法还是非接触式, 这两种结构都可取, 但各有其长处和不足: 超半球型浸没透镜的优点是能使整个光路较短, 缺点是像差大 [3]; 而对称双胶合光路长, 像差小。从表 1 给出的两种透镜组合的光路像差分析可以看出: 对称双胶合透镜的光路是超半球型浸没透镜的两倍长, 而像差则是它的一半。传统的接触式光学采集方法大都采用全反射棱镜和双胶合透镜的组合, 容易产生图像压缩和畸变; 将超半球型透镜应用于非接触式光学采集, 不仅克服了这些问题, 而且明显缩短了光路, 是一种新的采集方法。

图 3 与图 4 分别给出了轴向和垂轴像差的偏离程度, 通过子午面和弧矢面数值的对比, 发现垂轴像差较小, 而轴向像差较大, 这也是由采集光学系统所采用的透镜元件的特点所决定的。

为考虑像差容限的问题, 本文还采用波像差来评价光学系统像质。图 5 表示的是给定空间频率下像和物的调制度之比即指纹采集光学系统的调制传递函数 (MTF)。MTF 峰值的波动相对稳定、且数值较高说明系统的像较清晰、像质高。

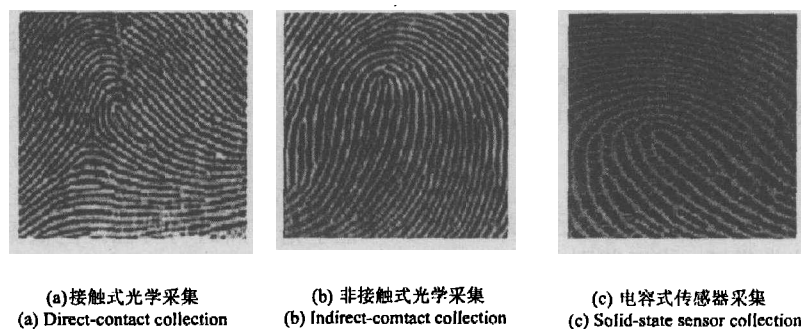


图 2 三种指纹采集方法图像对比

Fig.2 Three kinds of original fingerprint image

表 1 双胶合和超半球系统各元件的球差、慧差、像散、场曲、色差比较

Table 1 The comparison of systematic aberrations between super-hemisphere and double-veneer lens

Seidel Aberrations						
Summary	#	SphAbr	Coma	Astig	PtzCv	Distn
Totals		1.5949	0.1056	0.0295	0.0668	-0.0183
1	1	0.0001	-0.0001	0.0001	0.0000	-0.0001
2	2	-0.0014	0.0016	-0.0018	0.0000	0.0019
3	2	0.1396	-0.0567	0.0230	0.0156	-0.0157
4	4	0.1097	0.0212	0.0041	0.0049	0.0017
5	5	0.2995	0.0743	0.0184	0.0129	0.0078
6	3	-0.0003	-0.0023	-0.0148	0.0129	-0.0123
7	7	-0.0006	0.0015	-0.0037	0.0049	-0.0029
8	8	1.0485	0.0661	0.0042	0.0156	0.0012

Seidel Aberrations						
Summary	#	SphAbr	Coma	Astig	PtzCv	Distn
Totals		4.2193	-0.0485	0.2701	0.4744	0.1824
1	1	0.0003	0.0003	0.0003	0.0000	0.0003
2	2	-0.0177	-0.0176	-0.0175	0.0000	-0.0174
3	2	1.3996	0.4664	0.1555	0.1142	0.0899
4	4	0.6439	-0.1131	0.0199	0.0269	-0.0082
5	5	1.9571	-0.4113	0.0864	0.0756	-0.0341
6	3	0.0810	0.0438	0.0237	0.2577	0.1521
7	7	0.1550	-0.0171	0.0019	0.0000	-0.0002

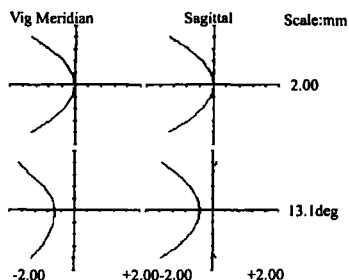


图 3 轴向像差

Fig.3 Longitudinal aberrations

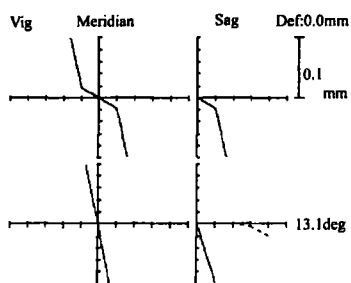


图 4 垂轴像差

Fig.4 Transverse ray aberrations

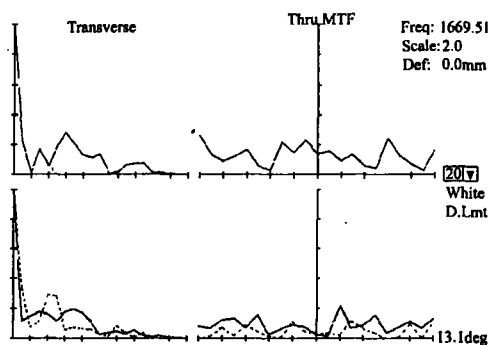


图 5 指纹采集光学系统的调制传递函数

Fig.5 Optical transfer function of the fingerprint collection system

4 实时傅里叶相关识别

无论是接触式采集还是非接触式采集指纹, 最终达到成功识别是技术的关键。将取指器采集到的待识别指纹和计算机中存储的目标指纹通过对数调整, 一起送到显示器上并排显示, 这两指纹被透镜成像在液晶光阀 LCLV 的写入面上, 作为联合变换相关系统的输入。一束准直平行相干光经偏振棱镜 (BSP) 照射到液晶光阀的读出面上, 将两输入指纹读出, 读出图像经傅里叶变换透镜 FL 进行光学傅里叶变换, 这样在 FL 的后焦面上就可由 CCD 摄像头

记录下它们的联合变换功率谱 (JPS), 将这一结果再重复一次上述过程, 完成相关运算, 就可由 CCD 记录下相关结果。通过对相关结果中相关位置处是否存在明显的亮斑的分析, 就可对输入指纹与目标指纹是否相同做出判别。对指纹识别而言, 联合变换相关器具有容易进行实时识别以及自适应的特点, 因此在指纹光学识别方法中经常应用 [4]。

图 6 是利用空间光调制器完成实时傅里叶相关识别所获得的相关斑, 通过所记录的相关斑可验证待识别指纹和计算机中存储的目标指纹是相同的, 由此说明采用非接触光学采集方法在实验上是可操作的。

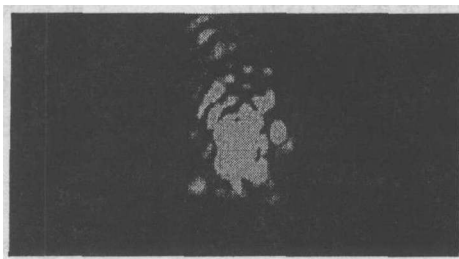


图 6 相关斑

Fig.6 Correlation spot

5 结 论

通过接触式与非接触式两种光学采集指纹方法的理论分析、像差计算和实验结果比照, 我们可以看到, 非接触式克服了接触式光学采集指纹经全反射棱镜后产生图像压缩的问题, 并且由于无需摁印, 有效地避免了指纹的旋转、扭曲和变形, 提高了采集图像的质量, 从而为利用空间光调制器实现指纹的实时傅里叶相关识别提供了有效的保证。在提取仪设计上, 非接触式采集方法与接触式相比, 无论是采用相干光还是非相干光照明都明显缩短了光路, 真正实现了采集装置体积小型化, 并且它结构简单、图像清晰、技术含量较低, 无疑为提高指纹采集识别系统性能、改善图像质量提供了新的思路。

参考文献:

- [1] 苏红军, 陈学文. 光电混合实时指纹识别新方法 [J]. 光学学报. 1996, 16(1): 36~38.
- [2] Inglis D. A robust, 1.8 V 250 μ W direct-contact 500 dpi sensor[A]. ISSCC Digest of Technical Papers[C], 1998, 17: 18~19.
- [3] 朱鹏飞. 指纹采集与模式识别的研究 [D]. 长春光机学院硕士论文, 1999, (3): 23~24.
- [4] Fielding K H, Horner J. Optical fingerprint identification by binary joint transform correlation[J]. Optical Engineering, 1991, 30(12): 1958~1961.

作者简介: 李 博 (1971-), 女, 讲师, 硕士, 现从事光学信息处理方面的研究工作。