

# 基于单目多视角机器视觉的 3D 指纹关键技术研究

杨瑞达 夏少杰 汤一平  
(浙江工业大学信息工程学院 杭州 310023)

**摘要** 针对二维平面指纹图像防伪性不高的问题,设计了一种由 1 个摄像单元和 2 个平面镜构成的单目多视角立体机器视觉装置,通过该视觉装置从 3 个不同视角来获取手指的指纹图像,然后对不同视角的指纹图像进行三维融合拼接,得到一幅便于识别的三维指纹图像,最后对三维指纹图像进行指纹图像增强和识别等处理。实验结果表明,基于单目多视角立体机器视觉的装置能保证一次性获得多个视角的指纹图像,融合拼接后的三维指纹图像提高了指纹识别的防伪能力,装置具有很高的性价比。

**关键词** 指纹识别,单目多视角,数字图像处理,指纹图像拼接

中图法分类号 TP391.4 文献标识码 A

## Research on Key Technologies of 3D Fingerprint Based on Monocular Multi-view Machine Vision

YANG Rui-da XIA Shao-jie TANG Yi-ping

(School of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

**Abstract** For the low security problem of 2D fingerprint image, a monocular multi-view device which consists of one camera and two flat mirrors was designed to obtain three fingerprint images from three different perspectives. Then three different perspectives of fingerprint images are fused, and a 3D fingerprint image with large effective area can be got. Finally image enhancement and recognition are used in 3D fingerprint image. The experimental results show that the design of monocular multi-view device can guarantee a one-time access to multiple perspectives of fingerprint image, and the result image enhances the security of fingerprint recognition.

**Keywords** Fingerprint identification, Monocular multi-view, Digital image processing, Fingerprint image stitching

## 1 引言

生物识别技术通过生物的固有特征或者习惯特征来识别个人的身份。固有特征为生物体本身具有的特征,例如指纹等;而习惯特征一般为后天习得,例如签名等<sup>[1]</sup>。这些特征识别技术都被广泛应用在各个身份认证领域中。

在各种基于生物特征的身份认证方法中,指纹识别所占有的市场份额最大。国际生物识别组织 IBG (International Biometric Group) 对 2004 年各种生物特征的市场份额的比较报告中指出,指纹识别的市场份额为 48%。同时,基于生物特征的身份认证方法的市场收入额在逐年上升。由此可见,社会越来越需要基于生物特征的身份认证,尤其是基于指纹的身份认证方式<sup>[2]</sup>。

由于指纹特征具有唯一性<sup>[3]</sup>和稳定性<sup>[4]</sup>,使得其在各个身份认证领域中得到了广泛的应用。

人类使用指纹进行个人身份鉴定已经有很长的历史。现代指纹识别起源于 16 世纪后期。苏格兰医生 Henry Fauld 于 1880 年首次在英国《Nature》杂志上发表论文,指出指纹人各不同、恒久不变,并利用现场指纹来鉴定罪犯<sup>[5]</sup>,从此揭开了现代指纹识别的序幕。1892 年,英国学者 Sir Francis Galton 对指纹进行了系统研究,并提出了指纹细节特征分类,将指纹分为斗(whorl)、箕(loop)、弧(arch) 3 大类,使指纹识别

应用进入了一个崭新的时期<sup>[6]</sup>。

随着计算机的出现、图像采集技术的发展以及对指纹识别研究的深入,人们逐渐将人工的指纹识别向电算化的自动指纹识别系统(Automated Fingerprint Identification System, AFIS)转变。美国最早于 1963 年首先开展有关软件的研制,于 1975 年成功推出第一个商业化系统 Printrak250<sup>[5]</sup>。日本在 1975 年开始进行该方面的研究,并于 1982 年将 NECAFIS 投入使用。我国也在 80 年代初对指纹识别技术展开研究。近年来,由于指纹识别具有广泛的应用前景,我国相关技术的研究获得了很大的进展<sup>[2]</sup>。

但是,目前的指纹识别器的技术还存在着一些不尽如人意之处。处理潜在的低质量的指纹图像还是需要人工介入<sup>[6]</sup>。随着越来越多的电子设备进入人们日常生活以及互联网的兴起,计算机、ATM、门禁控制、各种智能卡对个人安全和方便的身份识别技术要求越来越高,人们迫切需要准确、安全、方便的识别技术<sup>[2]</sup>,尤其是在防伪功能方面。

传统的指纹识别方法是通过获取指纹的 2D 图像进行识别。这种技术要求被验证者把手指紧贴在装置上来采集。这种验证方法由于手指部位遭到挤压往往会造成非线性失真<sup>[7]</sup>;同时这种指纹获取方法获取的指纹有效面积非常有限;更为重要的是,这种 2D 指纹信息能被轻易伪造,在安全性上存在着较大隐患。

本文受国家自然科学基金面上项目:主动三维立体全景视觉传感技术研究(61070134)资助。

杨瑞达(1993—),男,主要研究方向为计算机视觉与图像处理;夏少杰(1989—),男,硕士生,主要研究方向为计算机视觉与图像处理;汤一平(1958—),男,博士,教授,主要研究方向为计算机应用、计算机视觉。

3D 指纹识别技术能克服传统 2D 指纹识别的防伪性差等弊病。其优点有:1)相对于只获取一个平面指纹图像的 2D 指纹识别技术来说,3D 指纹识别技术能更全面地反映指纹信息,具有更高的防伪性;2)获取指纹图像时无接触,因而无弹性失真;3)对环境因素不敏感[1]。

针对上述 2D 指纹识别技术存在的不足,研制一种低成本、高效率、高防伪性的无接触式 3D 指纹识别技术具有十分重要的意义。由于手指的指纹本身就是 3D 的,因此 3D 指纹识别技术必定是未来指纹识别领域研究的发展方向。在 3D 指纹图像获取方面,已有学者做过类似的研究。这些研究通常是通过多个摄像头[8,9]或者一个摄像头的移动从不同角度拍摄多张指纹图像,然后通过拼接及处理获得具有更大有效指纹面积的图像。这种 3D 指纹获取方式有效地提高了指纹识别的精确性,但是需要多台高清摄像机或者高精度控制装置等,一定程度上增加了硬件成本,不利于产业推广。

本文提出了一种结构简单、低成本、高效率的单目多视角的指纹获取装置,通过单个高清摄像机及两个平面反射镜面能够一次性从多个视角获得 3D 手指指纹图像,配合数字图像处理算法完成指纹图像预处理、3D 指纹图像拼接及指纹识别后处理等操作。

## 2 单目多视角的立体视觉装置的设计

### 2.1 装置组成

本文设计了一种由 1 台高清摄像机和 2 枚平面镜构成的单目多视角的立体视觉装置。该装置通过一个摄像机的一次成像来获取从 3 个视角拍摄的手指表面图像,实现一种以手指为观察中心的有效方位视觉装置,能够从全方位视角获得被检手指表面的有效指纹信息。

图 1 所示为基于单目多视角的 3D 手指图像获取装置,由 1 台摄像机和 2 枚平面镜构成多视角的视觉采集箱。为了避免两反射平面镜互相反射,造成手指多余的二次成像,本文将两枚平面镜(图中的镜面 1 和镜面 2)与高清摄像机光轴夹角设置成  $45^\circ$ ,使各平面镜中只出现一个手指图案,并且不出现光源的倒影。

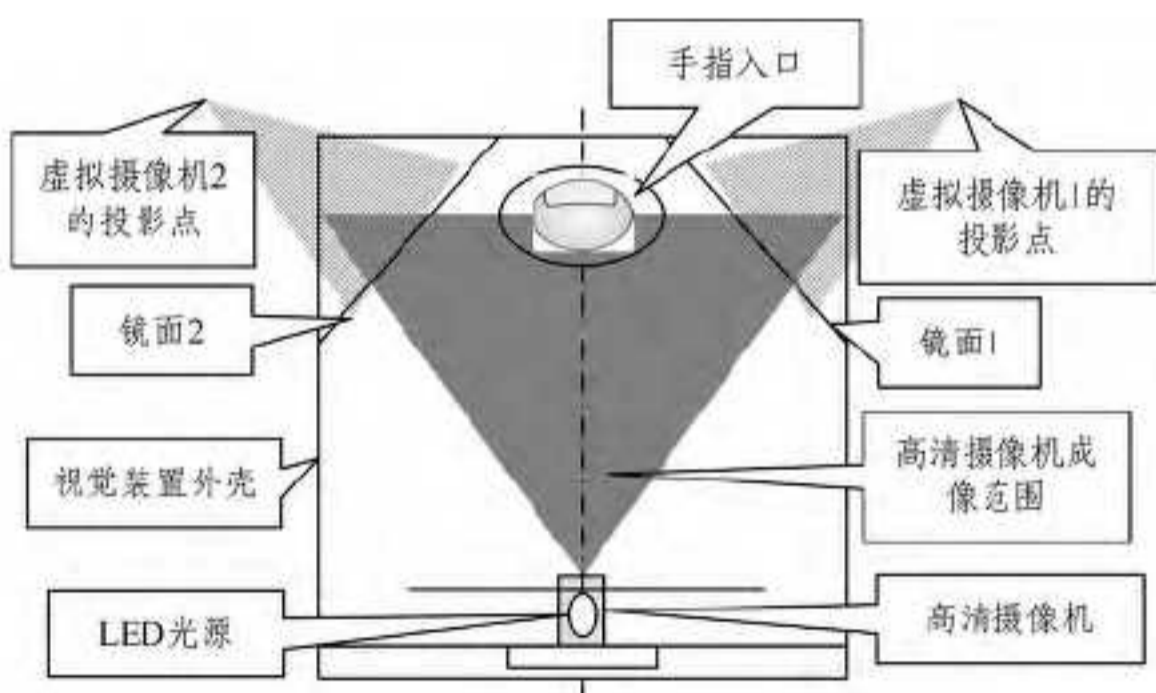


图 1 基于单目多视角的 3D 手指图像获取装置

为了实现一个以正面手指指纹为观察中心的多视角的全景视觉装置,根据指纹识别的有效图像分辨率指标为 400dpi[6],本文在获取手指的正面图像时采用了 1 台高清摄像机进行直接透视成像。对于手指的两个侧面图像,通过放置固定角度的两枚反射平面镜进行折反射成像。两枚反射镜面朝向腔体内侧,且反射膜喷涂在反射镜的前面,反射率为 89%;物体光线经过 2 枚平面镜反射后,投影到摄像机图像平面的不同区域,在摄像机图像平面上有手指的正视图、左视图和右视图。由于都是在同一摄像机中成像,因此该装置具有

严格一致的内部参数和颜色系统。

为了很好地提取 3D 指纹图像,3D 手指图像获取装置内部均采用黑色绒布背景,黑色背景便于对图像的分割与前景提取。

为了减少视觉检测时环境多义性以及外界的各种干扰,设计的单目多视角 3D 手指图像获取装置由一个外壳对视觉检测系统进行相对封闭。

### 2.2 3D 手指图像获取装置具体参数的设计

为了获取高质量的指纹图像,尽量缩小设备的尺寸,选取合适的镜头和设置合适的物体与镜头之间的距离是非常重要的。因为这两个因素影响了图片的分辨率、有效指纹区域的大小和设备的高度。通过实验,本文选取拍摄静态图像为 800 万像素的高清摄像头,将镜头的焦距定为 6cm,通过这种设计可以获得 400dpi 以上的指纹图像。

### 2.3 照明光源设计

照明方式的设计是机器视觉照明系统中最重要的一环。本文的照明方式选择为双点对称式照明方式,其有助于 3D 手指图像获取装置能捕捉照明光源在指纹表面形成的漫反射。当光源照射在手指表面时,脊部纹路会形成阴影,这些阴影有助于判断指纹的脊线和谷线。

LED 光源具有体积小、使用方便、发光稳定等特点。本文采用了 LED 作为设备光源。主流 LED 的发光颜色有红、黄、蓝、绿、青、橙、紫、白色。有研究表明,波长较短的光源(例如蓝、绿色)照射下得到的图片可以显示更多的细节变化,同时波长较长的光源(例如红色)照射下得到的图片显示了更多全局特性[2]。对于指纹识别,我们关心的是指纹的脊线和细节点特征,更需要清晰的局部纹理特征。因此本文最终选择了绿色 LED 作为照明光源。

考虑到手指表面为形状不规则的曲面,单一光源的照射必定会造成光在指纹表面分布不均匀的现象,即出现亮光区等。最理想的光源是一种能均匀照射到手指上的体光源。由于目前市场上还没有柔性的 LED 光源,本文对光源的数量和位置进行了设计,如图 2 所示。

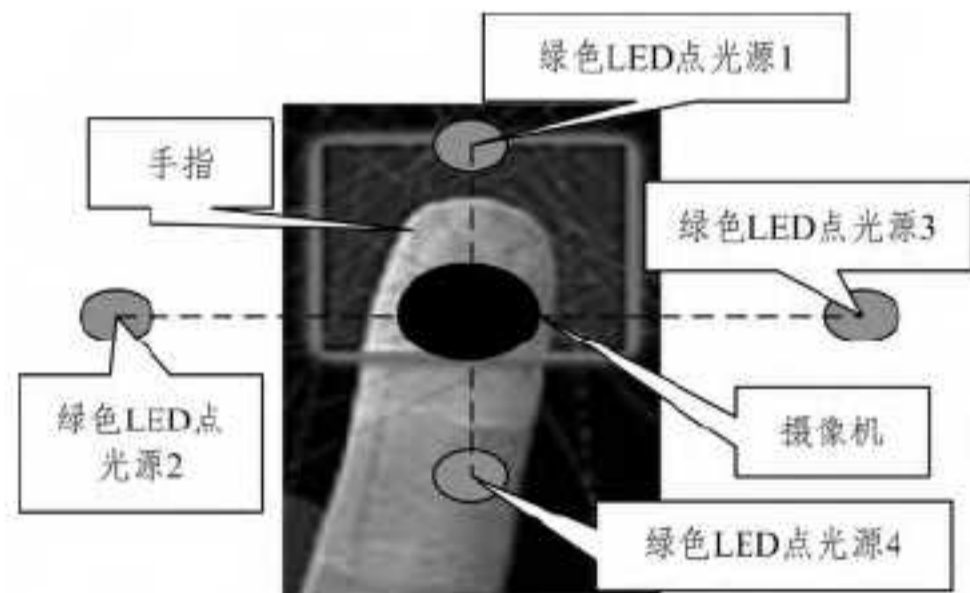


图 2 3D 指纹识别装置的俯视图

图 2 为 3D 指纹识别装置在某一切面上的俯视图。其中,中央圆体部分表示摄像机,在其前、后、左、右 4 个方位安置了 4 个 LED 绿色光源。前后两个光源的距离较近,主要考虑给手指的正面图像足够、均匀的光照。为了使手指的左右两侧能被较均匀地照亮并且光源不会被映射在平面镜中,依据两块平面镜的夹角参数,适当地增加了左右两个 LED 光源的距离。实验研究表明,基于本文设计的由 4 个 LED 绿色光源构成的光源模块,系统获取的指纹图像相对于单一 LED 绿色光源有了明显的改善。

## 3 多视角的指纹图像预处理技术

本文装置将 3 个视角内的手指成像于同一幅图像上。为

了便于建立 3D 指纹图像, 必须将 3 个视角的成像进行分割处理和指纹提取处理。然后, 将不同视角的 2D 指纹图像进行拼接融合, 得到一幅 3D 的指纹图像。最后对 3D 的指纹图像进行身份识别。

### 3.1 手指图像的分割

为了保证后期的指纹图像处理及识别能有效进行, 必须对原始的指纹图像进行分割操作, 即将原始图像分割成为 3 张各含有一个指纹图案的图像。

由于装置的各项参数(例如摄像机焦距、底部两块镜面所成夹角、底部两块镜面相聚距离)都已确定, 每次获取的图像中 3 个指纹图案的分布位置基本固定, 因此, 采用简易的固定参数方法来对 3 个手指图像进行分割, 可以达到理想的分割效果。

### 3.2 镜面图像轴对称变换

在获得的含有 3 个指纹图案的原始指纹图像过程中, 左右两侧指纹图案是通过镜面的反射来获取的, 即为平面镜中的倒影。为了方便后期进行 3 张指纹图像的拼接, 需将倒影指纹图案根据相应的对称轴进行轴对称变换。

本文对左侧指纹图像和右侧指纹图像进行轴对称变换的方法为通过现有的转化方法将指纹图像转化为灰度数组, 对每一行的像素点灰度数据进行逆序操作, 从而获得轴对称变换以后的图像灰度数组, 最后通过顺序的方式读取图像灰度数组, 实现指纹图像的轴对称变化。对左指纹图像和右指纹图像分别进行轴对称变化之后, 即可获得 3 张可拼接手手指指纹图像。

### 3.3 前景提取与灰度变换

在处理得到的 3 张指纹图像中, 有效信息都集中在指纹图案中, 而图像背景中存在的一些信息可能会干扰到后期对指纹图像的操作, 所以本文需要完成前景提取的步骤以将有效的指纹前景提取出来。在设计装置时, 装置内部背景采用了黑色绒布, 这样给前景提取操作提供很多便利。人类手指表面颜色由于与装置中黑色的背景相差较大, 且对光照的反射更加强烈, 在获取的图像中可视为高光区域, 而黑色背景可以视为低光区域。于是采用单一阈值分割的方法即可将图像的前景从背景里分离出来。

无接触式指纹图像是根据手指表面的脊部在光照之下形成阴影来获取手指指纹的纹路信息的, 其相对于颜色而言更偏重于对手指指纹亮度的分析。因此本文将指纹图像转化为灰度图, 这样即可从原始图像中过滤掉可能会造成干扰的颜色信息, 保留下更利于纹路提取的图像各像素点亮度信息。指纹图像预处理后, 将 3 幅不同视角的指纹图像转化为灰度图形式进行保存。

## 4 多视角指纹图像拼接及后处理

对于指纹图像的融合拼接, 相关研究<sup>[6]</sup>采用在平面上直接对图像进行匹配的方法, 即先选取其中两张图像(例如左侧图像与中间图像)进行特征提取, 再通过两张图像重合区域的一致性来获取缝合线, 最后以缝合线为基准进行指纹拼接。该方法拼接效果较好, 但算法复杂度高, 图像之间的匹配需要消耗较多时间。

为了提高图像融合拼接精度和效率, 本文根据装置所固有几何关系的特点, 提出了一种与之相匹配的 3D 指纹融合算法。3D 指纹融合拼接算法流程如图 3 所示, 下面对该算法进行详细的介绍。

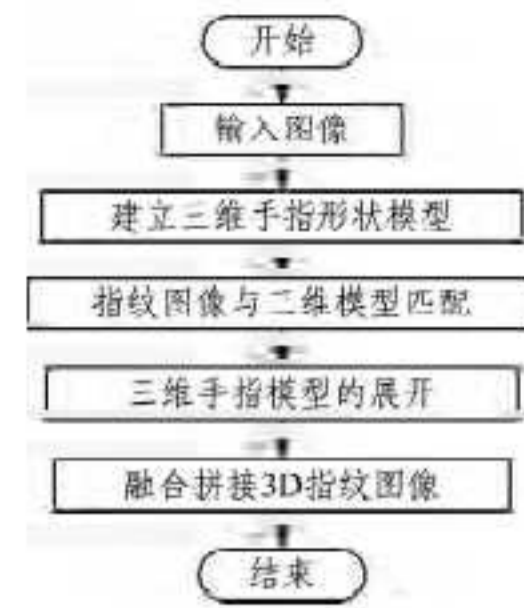


图 3 基于三维模型的指纹拼接算法流程

### 4.1 三维手指形状模型

人类手指作为一个不规则形状的三维物体, 目前还没有现成的确定的模型可以直接套用。要对 3D 指纹融合拼接处理, 对手指形状模型的估计是重要前提。本文通过对大量的手指外形轮廓特征的分析, 归纳出描述手指轮廓的数学模型。

本文通过两个不同切面轮廓的数学函数来描述手指的 3D 模型。首先建立三维坐标系  $(x, y, z)$ 。定义手指的正视平面为沿着  $y$  轴负方向的  $x-z$  平面, 左视平面为沿着  $x$  轴负方向的  $y-z$  平面, 俯视平面为沿着  $z$  轴负方向的  $x-y$  平面。

观察发现, 手指形状在手指轴心线的垂直切面上的轮廓线非常类似于抛物线。据此对手指的三维测量数据进行拟合, 得到手指轴心线的垂直切面上的轮廓线方程, 如式(1)所示:

$$y = -0.3x^2 + c (y > 0) \quad (1)$$

此外, 本文将沿手指正视图上的轴心线的垂直切面上的轮廓线用三次曲线来近似描述。通过对手指的三维测量数据进行拟合, 得到沿手指正视图上的轴心线的垂直切面上的轮廓线方程:

$$z = 2.45 - 1.2y^3 (y > 0, z > 0) \quad (2)$$

### 4.2 不同视角的指纹图像与三维手指模型的匹配

装置获取全景手指指纹图像的光路图如图 4 所示, 图中的半圆弧表示手指轴心线的垂直切面上的轮廓线(以下简称轮廓线)。在摄像机的成像平面中包括了被测指纹正视图和通过镜面反射的左右侧指纹图像以及背景。

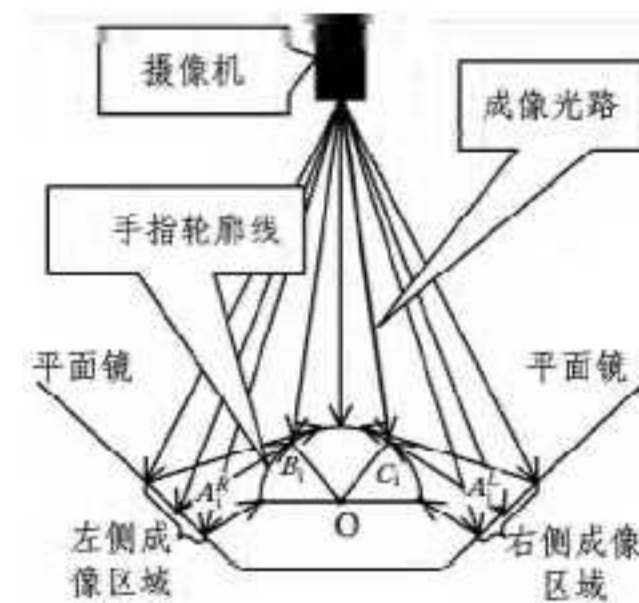


图 4 获取 3D 指纹图像的光路图

轮廓线上通过标定确定  $B_i, C_i$  两点, 然后将其分为 3 个部分, 即左侧、中间以及右侧区域。本文将  $B_i, C_i$  两点作为 3D 指纹图像的融合拼接点, 在每一手指的轮廓线上提取  $B_i, C_i$  两点, 将  $B_i$  各点进行连接构成左侧融合拼接线, 将  $C_i$  各点进行连接构成右侧融合拼接线。

在装置的左右两侧反射平面镜中的成像区域里,  $B_i$  点与  $C_i$  点分别对应于两侧各自成像区域中的  $A_i^R$  和  $A_i^L$  点。因此, 只需找到  $A_i^R$  和  $A_i^L$  点所在位置, 即获取某一高度两侧指纹图像各自与中间指纹图像匹配的拼接点。由于中间指纹图像中包含了最多的指纹信息, 本文设定弧  $B_i C_i$  的长度为整个手指

的轮廓线的  $1/2$ 。

在前面装置的设计中,已经确定摄像机、镜面的角度及手指位置等参数,所以能使用几何关系计算  $A_i^R$  和  $A_i^L$  点所处两侧图像区域的位置。但是使用几何关系计算每一  $A_i^R$  和  $A_i^L$  点的位置需要大量时间,本文尝试找出一种简化寻找  $A_i^R$  和  $A_i^L$  点的算法。

当随机采样 5 条不同位置上的轮廓线进行计算时,发现  $A_i^R$  和  $A_i^L$  点总是出现在两侧图像区域线段的某一比例位置附近。因此,当每一条中间指纹轮廓线的  $B_iC_i$  点比例位置被确定后,就能够确定两侧图像区域中  $A_i^R$  和  $A_i^L$  点所处的比例位置。然后再分别连接所有的  $A_i^R$  和  $A_i^L$  点就得到了两侧指纹图像上的融合拼接线。在中间图像区域采用手指正视图中两条融合拼接线之间的区域,左右两侧手指图像分别取手指正视图中融合拼接线外侧的图像与相应视图中的图像进行融合。

在获得了左、中、右 3 个不同区域的手指指纹图像后,就实现了指纹图像与手指三维模型之间的匹配。接着用各图像中的像素点灰度值来设置手指三维模型中对应点的灰度值。

#### 4.3 3D 指纹的展开

为了使得 3D 指纹数据能够利用现有的成熟的自动指纹识别 (AFIS) 算法来进行指纹识别,需要将 3D 手指展开到 2D 平面上。现有的展开方法基本上可分为两类:有参展开与无参展开,下面简要介绍两种展开方法,并提出同时兼备简易性与展开效果的改进有参展开算法。

##### 4.3.1 有参展开与无参展开

有参展开就是将 3D 物体投影到一个有参的简易形状模型中,然后展开这个形状模型。这个方法是简单而直接的转化,但是它也要求选择的参数模型必须与物体的形状相近<sup>[10]</sup>,否则会产生很大的失真。有参展开原理如图 5 所示。

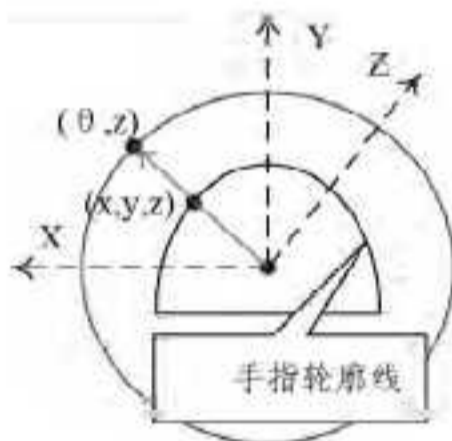


图 5 3D 指纹有参展开原理

尽管人类的手指与圆柱形相似,能由圆柱形估计,但在 3D 指纹模型展开时,仍会存在较大的失真情况。例如手指指尖顶部体积较小,若与根部使用相同的参数展开,会造成较大失真。

与采用形状模型近似被展开物体的有参展开不同,无参展开则是在任意形状的物体上直接进行,所以物体空间上的特征能够被较好地保留下来。无参展开的主要观点是“局部展开”指纹图像,这样就能保证手指表面局部的指纹在尺寸和形状上都能够被较好地提取展开。尽管指纹无参展开的效果优于有参展开,但是对于手指形状设计的无参展开公式更加复杂,会增加大量的计算量。所以本文考虑采用一种简便却具有较好的展开效果的方法,即对现有的有参展开算法进行改进。

##### 4.3.2 改进之后的有参展开算法

对有参展开算法进行的改进,其本质上是寻找到与手指形状更加吻合的形状模型,近似之后再展开。由于本文在将 3 张指纹图像与本文构建的 3D 手指形状模型相匹配时,手指图像的竖直方向对应于 3D 手指形状模型的  $z$  轴时

是不进行尺度变换的,因此在展开 3D 指纹模型时,同样不需要考虑在  $z$  轴方向(即竖直方向)上的变化。

为了寻找到一种只需分析手指轮廓线的近似曲线来描述近似手指形状的模型,本文在构建 3D 手指模型时,采用式 (1) 来描述手指轮廓线(它的变化只由  $c$  来决定)。经分析发现,这条曲线与半径为 2.3 的圆的某段圆弧非常相似(具体圆弧的长度由  $c$  来决定,而  $c$  又由  $z$  来决定),如图 6 所示。于是在不同的深度上(即图 5 中的不同  $z$  值),可使用不同长度的圆弧来近似手指模型的水平轮廓线。由于每一条轮廓线都能很好地被圆弧近似,因此整个手指模型的近似效果相对于直接使用有参圆柱有了很大的提高。展开步骤完成之后即获得了理想的指纹拼接图像。

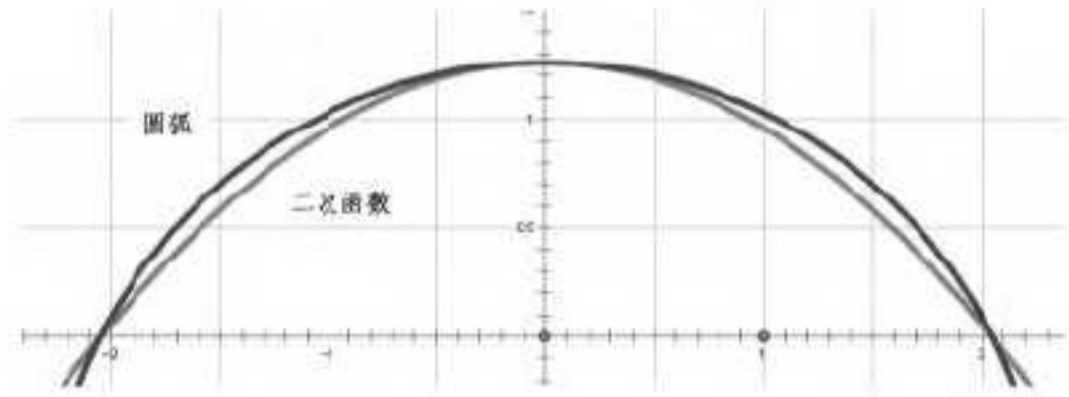


图 6 用圆弧近似二次函数

#### 4.4 指纹图像的后处理

##### 4.4.1 基于动态阈值的二值化

在 3D 手指展开到 2D 平面之后,获得了一张相较于传统 2D 指纹图像有更大的有效指纹面积的图像。但这幅图像仍然为灰度图,若要使用现有的指纹识别算法,需要将图中的灰度信息进行处理,将 3D 指纹灰度图像转化为 3D 指纹二值图像。3D 指纹二值图像中只含有黑色与白色两种信息。黑色用于表示指纹纹路的谷线,而白色则用于表示指纹纹路的脊线,所以 3D 指纹二值图像可以很清晰地把 3D 指纹纹路信息表示出来,方便对图像使用现有的自动指纹识别算法。

目前比较常用的图像二值化方法是单一阈值二值化方法,即根据图像的灰度直方图的分布来定义一个灰度阈值,之后遍历图像的每一个像素点,将每一点的灰度值与灰度阈值比较,若小于阈值,则将该像素点的灰度值置零;若大于阈值,则将该像素点的灰度值置为 255。

由于在获取手指指纹图像时手指表面上还会在一定程度上受到不均匀光源的照射,导致了手指表面某些区域的受光强度有所差异,个别高光区域的指纹谷部阴影纹路的灰度值会高于阈值。如果采用单一阈值算法,会将高光区域整块设为白色,而将低光区域整块的设为黑色,造成指纹纹路信息的丢失。因此,有必要采用改进的动态阈值图像二值化方法对 3D 指纹灰度图像进行处理。

动态阈值二值化方法是将图像分为很多的小区域。获得每一个区域内像素点的灰度值之后对其求平均,其灰度平均值能够反映这块区域的整体亮度情况,再根据该平均值设定这个区域的阈值,然后将区域内每一个像素点和阈值相比,小于阈值的置为 0,大于阈值的置为 255。当遍历完整幅 3D 指纹灰度图像时,就得到了 3D 指纹二值化图像。

##### 4.4.2 去除噪声点的中值滤波

上述获得的 3D 指纹二值化图像中仍然包含有一些孤立的噪声点。为了使 3D 指纹脊部纹路和谷部纹路更加分明,提高指纹识别时的精确性,本文对动态阈值二值化方法处理后得到的 3D 指纹二值化图像进行进一步中值滤波处理。中值滤波处理是基于排序统计理论的一种能够有效抑制噪声的非线性信号处理技术,其基本原理是把数字图像或数字序列

中一点的值用该点的一个邻域中的各点值的中值代替,让周围的像素值接近真实值,从而消除孤立的噪声点。关于中值滤波的算法请参考数字图像处理相关书籍。

通过中值滤波处理后得到的 3D 指纹二值化图像,就可以直接调用现有的成熟的自动指纹识别 (AFIS) 算法来进行指纹识别。

## 5 实验研究

为了验证本文设计的单目多视角立体视觉检测装置能够一次性获取多视角的手指指纹图像,本文开发了一种简单的单目多视角立体视觉检测装置的原型,如图 7 所示。图 8 是从 3 个不同视角获取的指纹图像经过分割和前景提取之后的效果图。与采用单一 LED 绿色光源获取的图像(见图 9)相比,本文设计的光源系统使指纹表面受光更加均匀。



图 7 单目多视角立体视觉装置原型

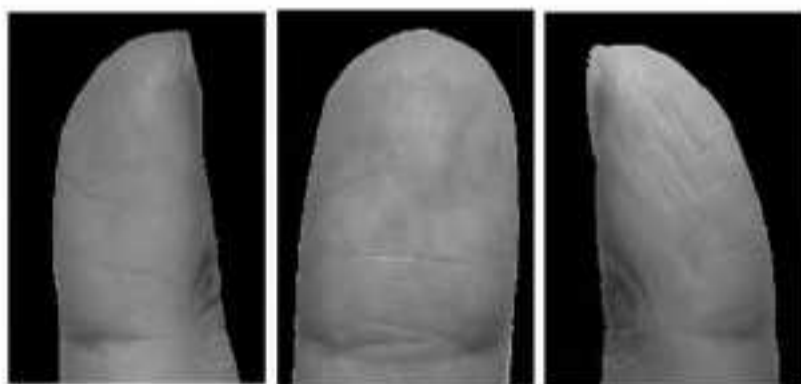


图 8 从 3 个不同视角获取的指纹图像

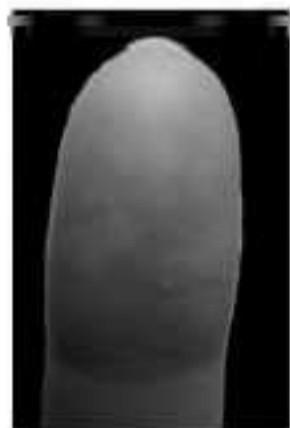


图 9 使用单一 LED 绿光光源获取的中间指纹图像

左视图与右视图的指纹图像需经过镜面图像轴对称变换才能够直接运用在多角度指纹图像与 3D 手指模型的匹配上,然后将 3 幅不同视角的图像转化为灰度图。

图 10 为用改进的有参展开算法对多角度指纹图像与 3D 手指模型匹配后的 3D 手指灰度图像进行处理得到的 3D 指纹融合拼接展开图。

图 11 是对图 10 所示的 3D 指纹融合拼接展开图进行动态阈值二值化处理后得到的 3D 指纹二值化图像。从图 11 中的细节部分还能发现不少孤立的噪声点。



图 10 3D 指纹融合拼接展开图 图 11 3D 指纹二值图

图 12 是对经过动态阈值二值化处理后得到的 3D 指纹

二值化图像(见图 11)进行中值滤波处理后得到 3D 指纹二值图。

本文对脏手指、比较浅指纹和干湿性手指进行了实验研究,这几种情况对经滤波处理后得到的 3D 指纹二值图几乎没有影响,其中脏手指实验图像如图 13 所示。



图 12 滤波处理后的 3D 指纹二值图 图 13 脏手指情况下局部指纹处理图像

结束语 无接触 3D 指纹识别技术是指纹识别领域的重要课题之一,本文利用单目多视角立体成像技术设计了一种能够同时获得多幅、多个角度的手指指纹图像的检测设备,并将该视觉检测装置应用于多角度指纹图像的获取与处理。相较于传统的 2D 指纹识别技术,其能够提供拥有更大指纹有效面积的图像,从而提高了指纹识别的准确性和安全性。通过采用封闭的黑色背景和特别设计的 LED 照明系统,减少了环境多义性对无接触式指纹图像获取时的干扰;通过 3D 模型建立、多幅指纹图像和 3D 模型的匹配以及 3D 模型的展开,获得了大面积的高质量指纹拼接图像。

本文提出的基于单目多视角机器视觉的 3D 指纹图像获取及处理装置的优势主要表现在:1)采用一枚高清摄像头拍摄一张照片即可同时获得多个视角的指纹图像,相较于现有的使用多枚高清摄像头拍摄多张指纹图像的无接触式 3D 指纹图像获取技术来说,其不仅大大降低了设备的成本,还减少了多角度指纹图像获取和处理的时间。2)通过分析手指形状建立手指形状模型,利用装置的特性将多幅不同角度的指纹图像快速匹配到 3D 手指模型上,最后使用改进的有参展开算法获取了具有良好效果的展开指纹图像。该过程中运用的算法结合装置特性,大大减少了处理多幅指纹图像以及寻找其对应关系的时间和复杂度。3)经过处理完成的图像相对于传统的 2D 指纹图像显著增加了有效指纹面积,从而提高了指纹识别的精度,保证了指纹识别的安全性。

今后的研究工作主要从以下几个方面进行:1)尝试不同的自动指纹识别算法,并结合装置本身的特性进行改进,获得更加适合本装置的自动指纹识别算法;2)改善多幅指纹图像到重建的 3D 手指模型的匹配算法,使操作更精准和快捷;3)改善图像拼接处的拼接效果,降低拼接线对指纹识别的影响;4)对 3D 手指模型展开图使用更优秀的滤波算法,使指纹二值图像的效果更佳;5)整合现有的各种优秀的指纹处理技术,使得 3D 指纹识别技术更精准、高效,性价比更高,防伪性更强。

## 参考文献

- [1] Huang S, Zhang Z, Zhao Y, et al. 3D fingerprint imaging system based on full-field fringe projection profilometry[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2014, 52: 123-130
- [2] 徐冬. 3D 非接触式指纹识别系统[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008
- [3] Pankanti S, Prabhakar S, Jain A K. On the Individuality of fingerprints[C] // 2001 IEEE Computer Society Conference on

Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR'01). Kauai, Hawaii, USA, 2002:805

- [4] Kuckena M, Newell A C. Fingerprint Formation[J]. Journal of Theoretical Biology, 2005, 235(1): 71-83
- [5] Lee H C, Gaensslen R E. Advances in Fingerprint Technology [M]. New York: Elsevier, 1991
- [6] Zhang D, Lu G. 3D Biometrics: Systems and Applications[M]. New York: Springer, 2013
- [7] Kumar A, Kwong C. Towards Contactless, Low-Cost and Accurate 3D Fingerprint Identification[C]// 2013 IEEE Conference

on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR). IEEE, 2013:3438-3443

- [8] 梁小龙, 殷建平, 祝恩, 等. 基于纹路的三维指纹模型重建算法[J]. 计算机科学, 2012, 39(10): 282-285
- [9] 林春亮. 非接触式指纹匹配算法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010
- [10] Chen Y, Parziale G, Diaz-Santana E, et al. 3D touchless fingerprints: compatibility with legacy rolled images [C]// 2006 Biometrics Symposium; Special Session on Research at the Biometric Consortium Conference. IEEE, 2006: 1-6

(上接第 153 页)

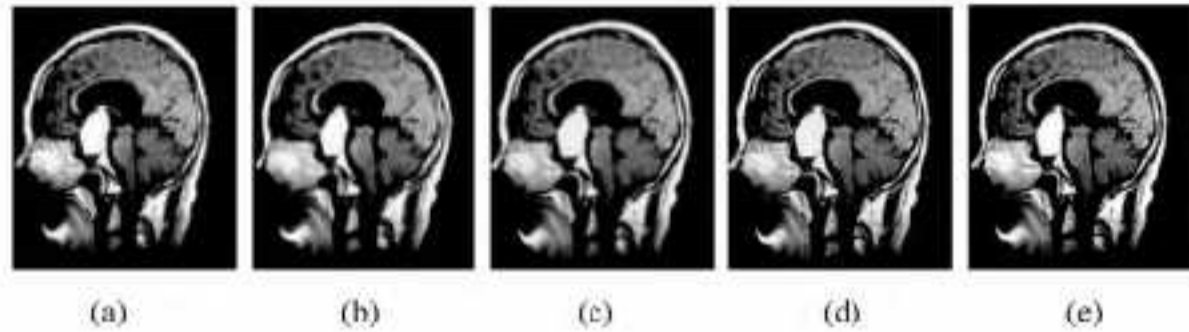


图 5 MRI1 恢复

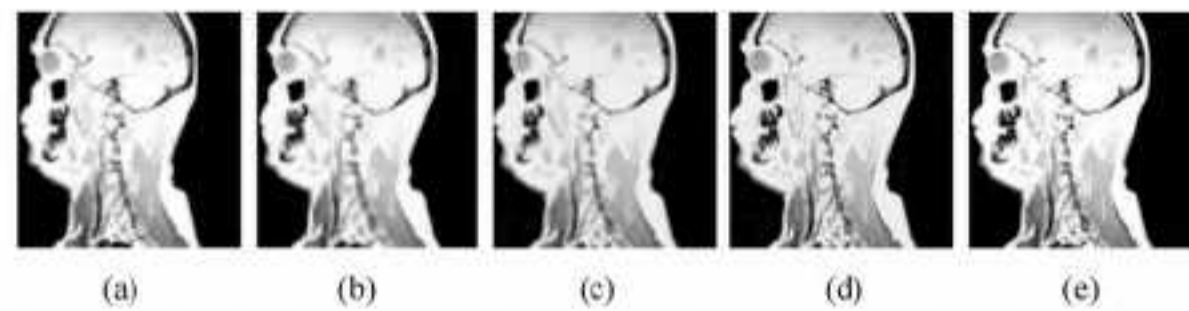


图 6 MRI2 恢复

表 1 几种不同方法恢复图像的性能数值

测试图片	方法	PSNR(db)	SSIM	MSSIM
CT1	Freeman <sup>[4]</sup>	25.1409	0.9707	0.7744
	Bicubic	26.9718	0.9812	0.8313
	Yang <sup>[6]</sup>	27.5192	0.9835	0.8436
	本文算法	28.2864	0.9863	0.8628
CT2	Freeman <sup>[4]</sup>	25.0423	0.9651	0.8634
	Bicubic	27.2404	0.9798	0.9069
	Yang <sup>[6]</sup>	27.9817	0.9834	0.9222
	本文算法	28.6644	0.9851	0.9317
CT3	Freeman <sup>[4]</sup>	25.6323	0.9803	0.8126
	Bicubic	26.1443	0.9907	0.8928
	Yang <sup>[6]</sup>	28.2512	0.9928	0.9184
	本文算法	29.2971	0.9940	0.9321
MRI1	Freeman <sup>[4]</sup>	19.1107	0.9138	0.6695
	Bicubic	20.3128	0.9367	0.7446
	Yang <sup>[6]</sup>	20.8746	0.9447	0.8102
	本文算法	21.4798	0.9532	0.79621
MRI2	Freeman <sup>[4]</sup>	23.5768	0.9775	0.7432
	Bicubic	25.6280	0.9857	0.8251
	Yang <sup>[6]</sup>	26.4712	0.9879	0.8439
	本文算法	27.2923	0.9904	0.8642
MRI3	Freeman <sup>[4]</sup>	25.7284	0.9612	0.7448
	Bicubic	25.6280	0.9857	0.8251
	Yang <sup>[6]</sup>	26.3412	0.9871	0.8439
	本文算法	27.2923	0.9904	0.8642

结束语 本文提出了一种基于组稀疏的单帧医学图像超分辨算法, 结合 Group Lasso 和 K-SVD, 提出了一种新的字典的训练算法。考虑到医学图像的结构, 首先通过低分辨率图像和低分辨率稀疏字典求得组稀疏系统, 从而进一步重构高分辨率图像。采用一些真实的 CT 图像和 MRI 图像作为测试图像, 由实验结果可以看出本文算法在性能指标上比其它几种方法更高。

### 参考文献

- [1] Farsiu S, Robinson D, Elad M. Fast and robust multiframe su-

per-resolution[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(10): 1327-1344

- [2] Park S, Park M, Kang M. Super-resolution image reconstruction; a technical overview[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2003, 20(3): 21-36
- [3] Li X, Hu Y, Gao X, et al. A multi-frame image super-resolution method[J]. Signal Processing, 2010, 90(2): 405-414
- [4] Freeman W, Jones T, Pasztor E. Example-based super-resolution IEEE Computer Example-based super-resolution[J]. Computer Graphics and Applications, 2002, 22(2): 56-65
- [5] Yang J, Wright J, Huang T. Image Super-Resolution as Sparse Representation of Raw Image Patches[C]// 26th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Washington, DC USA: 2008: 1-8
- [6] Yang J, Wright J, Huang T. Image super-resolution via sparse representation [J]. IEEE Transaction on Image Processing, 2010, 19(11): 2861-2873
- [7] Yang S, Sun Y, Chen Y, et al. Structural similarity regularized and sparse coding based super-resolution for medical images[J]. Biomedical Signal Processing and Control, 2012(7): 579-590
- [8] Liu H, Li S, Yin H. Infrared surveillance image super resolution via group sparse representation [J]. Optics Communications, 2013(289): 45-52
- [9] 李民. 基于稀疏表示的超分辨率重建和图像修复研究[D]. 电子科技大学, 2011
- [10] 路锦正, 张启衡, 徐智勇, 等. 超完备稀疏表示的图像超分辨率重构方法[J]. 系统工程与电子技术, 2012, 34(2): 403-408
- [11] Huang J, Zhang T. The benefit of group sparsity[J]. Ann Statist, 2010, 38(4): 1978-2004
- [12] Majumdar A, Ward R. Fast group sparse classification[J]. Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering, 2009, 34(4): 136-144
- [13] Li S, Yin H, Fang L. Group-Sparse Representation With Dictionary Learning for Medical Image Denoising and Fusion[J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2012, 12(59): 3450-3459
- [14] Elad M, Aharon M. Image denoising via learned dictionaries and sparse representation[C]// Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, DC USA: 2006: 895-900
- [15] Aharon M, Elad M, Bruckstein A. The K-SVD: An Algorithm for Designing Overcomplete Dictionaries for Sparse Representation[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2006, 54(11): 4311-4322
- [16] Channappayya S, Bovik A. Rate bounds on SSIM index of quantized images[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2008, 17(9): 1624-1639