

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2018 年 11 月 1 日 (01.11.2018)

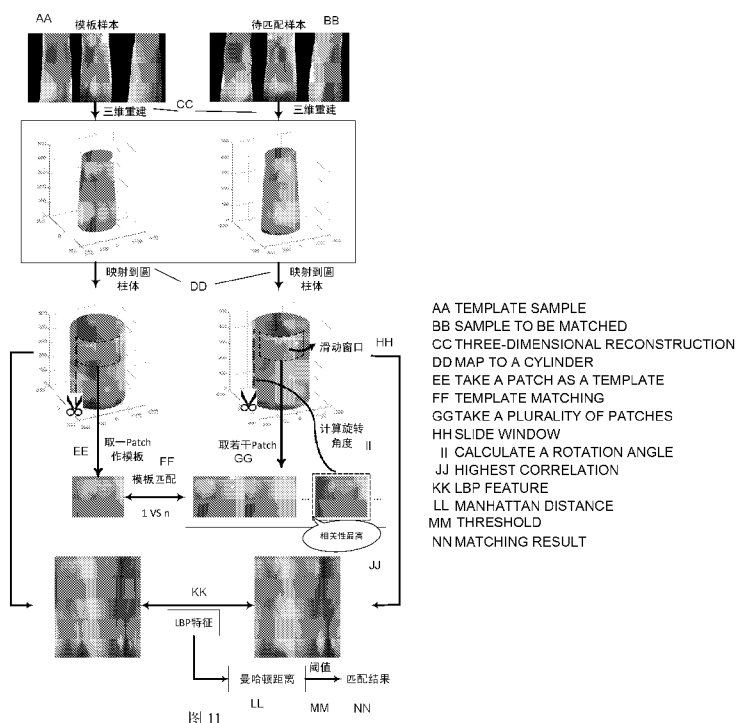


(10) 国际公布号
WO 2018/196371 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06K 9/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2017/113362
- (22) 国际申请日: 2017 年 11 月 28 日 (28.11.2017)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201710281130.0 2017年4月26日 (26.04.2017) CN
- (71) 申请人: 华南理工大学 (SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国广东省广州市南沙区环市大道南路25号华工大广州产研院, Guangdong 511458 (CN)。
- (72) 发明人: 康文雄 (KANG, Wenxiong); 中国广东省广州市南沙区环市大道南路25号华工大广州产研院, Guangdong 511458 (CN)。 刘宏达 (LIU, Hongda); 中国广东省广州市南沙区环市大道南路25号华工大广州产研院, Guangdong 511458 (CN)。 邓飞其 (DENG, Feiqi); 中国广东省广州市南沙区环市大道南路25号华工大广州产研院, Guangdong 511458 (CN)。
- (74) 代理人: 广州市华学知识产权代理有限公司 (GUANGZHOU HUAXUE INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD.); 中国广东省广州市天河区五山路381号物资大楼首层, Guangdong 510640 (CN)。
- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,

(54) Title: THREE-DIMENSIONAL FINGER VEIN RECOGNITION METHOD AND SYSTEM

(54) 发明名称: 一种三维手指静脉识别方法及系统



(57) Abstract: A three-dimensional finger vein recognition method and system, comprising the following steps: three cameras taking finger vein images from three angles to obtain three images; constructing a three-dimensional finger model according to finger contour lines; mapping two-dimensional image textures photographed by the three cameras into the three-dimensional finger model, respectively performing different processes on an overlapping region and a non-overlapping region; obtaining a three-dimensional finger vein image; and finally, performing feature extraction and matching on the three-dimensional finger vein image, to complete recognition. The

BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

method can acquire a better finger vein recognition effect, and has a higher robustness for a plurality of postures, such as finger rotation and inclination.

(57) 摘要: 一种三维手指静脉识别方法及系统, 包括步骤: 三个摄像头从三个角度拍摄手指静脉图像, 获得三幅图像; 依据手指轮廓线构建手指三维模型; 将三个摄像头拍摄的二维图像纹理映射到三维手指模型中, 对重叠区域和非重叠区域分别做不同的处理; 得到三维手指静脉图像; 对三维手指静脉图像进行特征提取与匹配, 最终完成识别。所述方法能获得更好的手指静脉识别效果, 对手指旋转、倾斜等多种姿态具有较高鲁棒性。

一种三维手指静脉识别方法及系统

技术领域

本发明涉及静脉识别技术领域，特别涉及一种三维手指静脉识别方法及系统。

背景技术

随着信息时代的发展，身份认证的重要性开始进一步凸显，传统的身份认证方式已经难以满足新时代人们对身份认证提出的便捷性，防伪性和高安全性的诸多需求，此时，以指纹识别和人脸识别为代表的生物特征识别技术开始逐步得到深入研究和广泛应用。生物特征识别技术是利用一种或多种人类的生理特征（如指纹、人脸、虹膜、静脉等）或行为特征（如步态、签名等）进行身份认证的一种技术。其中，手指静脉识别技术以其独特的优势开始在身份认证领域占得重要的一席之地，它是一种利用手指表皮下的血管的纹路信息作为个体身份验证的生物特征识别技术。与其它生物特征识别技术相比，指静脉识别具备的独特优势包括：（1）利用的是活体的内生理特性，难以伪造，具备高安全性。（2）可实现非接触或弱接触测量，具备良好的亲和性。（3）不易受手指表面伤痕或油污、汗水影响，具备较强的抗干扰性。经过近些年的发展，指静脉识别的研发和应用呈现出迅速繁荣的趋势，并显示出巨大的市场潜力。

现阶段的静脉识别技术一般采用单目相机对单侧手指进行近红外波段的二维成像，这种成像方式下仅仅获取了手指单侧的静脉图像，因此包含的静脉特征信息有限。此外，由于受采集指静脉图像时手指放置的位置、手指摆放姿态（如旋转）、曝光不均匀等等因素影响，难以定位稳定可靠的 ROI，从而后续进行的特征提取和匹配对旋转偏差和位移偏差比较敏感。

然而，针对不同姿态下手指静脉识别的研究相对较少，现有的少量研究包括：采用椭圆模型对采集的二维手指静脉图像进行拓展，从而实现指静脉图像的标准化，然后再截取有效区域进行匹配；采用圆模型将二维手指静脉图像扩展；或者，采用三维模型的方法，其关键仍然是使用椭圆模型，将六种不同姿态下的手指静脉图像标准化，再做匹配。不管是用哪种物理模型，都在一定程度上改善了同一手指在不同姿态下拍摄的静脉图像之间存在较大差异

的情况，但仍然存在的问题是：一方面，对应的纹理区域变少了，不利于匹配；另一方面，边缘区域静脉图像质量受成像因素的影响一般会比较差，同样影响到识别结果。还有一种方法是基于多视图几何的三维成像方法，但这种方案在三维重建时难以找到甚至找不到匹配的特征点，因而难以计算全部静脉纹理的深度信息，此外，这种方法采集的静脉纹理也是只有单侧的，因此仍然存在特征信息有限的问题。

发明内容

本发明的主要目的在于克服现有技术的缺点与不足，提供一种三维手指静脉识别方法，能获得更好的识别效果，对手指旋转、倾斜等多种姿态具有较高鲁棒性。

本发明的另一目的在于提供一种基于上述方法的三维手指静脉识别系统，能实现更好的识别效果，对手指旋转、倾斜等多种姿态具有较高鲁棒性。

本发明的目的通过以下的技术方案实现：

一种三维手指静脉识别方法，包括以下步骤：

S1、三个摄像头在等分角度下从三个角度拍摄手指静脉图像，获得三幅图像；

S2、依据手指轮廓线构建手指三维模型：

将手指剖面图近似视为一个圆 S ，将三维手指等距离分割成若干个剖面，计算每个剖面的轮廓，用多个不同半径不同位置的圆来对手指近似建模；再将所有轮廓按手指中轴方向串接起来，即可获得近似的手指三维模型；

S3、建立完成三维手指模型之后，接下来将三个摄像头拍摄的二维图像纹理映射到三维手指模型中；三个摄像头拍摄的图像既有两两重叠的部分，又有非重叠的部分，先要确定重叠区域，然后对重叠区域和非重叠区域分别做不同的处理；得到三维手指静脉图像；

S4、对三维手指静脉图像进行特征提取与匹配，最终完成识别。

优选的，将三维手指等距离分割成 300 个剖面。

优选的，计算每个剖面的轮廓的方法是：

1) 根据三个摄像头的投影中心 C_1, C_2, C_3 建立 xOy 坐标系：以这三点的垂直平分线交点作

为坐标原点 O ，以 C_2C_3 的中垂线作为 y 轴建立笛卡尔坐标系 xOy ；将图像上的像素坐标变换到 xOy 坐标系中：

坐标系的原点 O 到 i 号摄像头的成像平面的距离为 L_0 ，设图像上一点坐标为 $A(x_0, y_0)$ ，将其变换至 xOy 坐标系中的成像 I_i 上，变换后的坐标为 $A'(x, y)$ ：

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \theta_i & \cos \theta_i \\ -\cos \theta_i & \sin \theta_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_0 - y_m \\ L_0 \end{bmatrix}$$

其中 θ_i 表示射线 OC_i 与 x 轴正向的夹角， $i=1,2,3$ ， y_m 表示手指径向方向图像高度的一半；

这里，只需要转换手指上下边缘点的图像坐标到 xOy 坐标上，记 i 号摄像头拍摄的图像的手指上边缘点 P_{ui} 转换后的坐标为 $\bar{P}_{ui}(x_{ui}, y_{ui})$ ，下边缘点 P_{bi} 转换后的坐标点为 $\bar{P}_{bi}(x_{bi}, y_{bi})$ ；

2) 求圆 S 参数；

每个摄像头的投影中心坐标是已知的，记为 $C_i(x_i, y_i)$ ，求出直线 $C_i\bar{P}_{ui}$ 的和直线 $C_i\bar{P}_{bi}$ 的方程：

$$L_{ui} : y = k_{ui}x + b_{ui}$$

$$L_{bi} : y = k_{bi}x + b_{bi}$$

设圆 S 的圆心坐标为 (x_c, y_c) ，半径为 r_c ，那么圆心到各直线的距离为：

$$d_{ui} = \frac{|k_{ui}x_c - y_c + b_{ui}|}{\sqrt{1+k_{ui}^2}}$$

$$d_{bi} = \frac{|k_{bi}x_c - y_c + b_{bi}|}{\sqrt{1+k_{bi}^2}}$$

最优圆方程应该满足下列优化方程：

$$\min F = \sum_{i=1}^3 (|d_{ui}^2 - r_c^2| + |d_{bi}^2 - r_c^2|)$$

通过优化问题求解算法求解出圆参数 x_c, y_c, r_c 。

进一步的，通过梯度下降法求解算法即可求出圆参数。

进一步的，近似求解出圆参数的方法为：

1) 计算 L_{ui} 与 L_{bi} 的角平分线；

这两条直线的角平分线方程为 L_i ： $y = k_i x + b_i$ ，有方程组：

$$\begin{cases} |k_i - k_{ui}| / (1 + k_i k_{ui}) = |k_i - k_{bi}| / (1 + k_i k_{bi}) \\ y_i = k_i x_i + b_i \end{cases}$$

由先验知识可知： $|k_1| > 1$ ， $k_2 > 0$ ， $k_3 < 0$ ，这样，对于每一个摄像头对应的方程组都有唯一的解；

2) 求圆心坐标及半径

由上一步求得的三条角平分线方程，每两条直线有一个交点，记 L_i 与 L_j 的交点为 $P_{ij}(x_{ij}, y_{ij})$ ，其中：

$$\begin{aligned} x_{ij} &= -(b_i - b_j) / (k_i - k_j) \\ y_{ij} &= k_i x_{ij} + b_i \end{aligned}$$

记 P_{ij} 到 L_{ui} 和 L_{uj} 的距离分别为 r_{ij} 、 r_{ji} ，可以通过点到直线的距离公式计算得到，因此，最终的圆心坐标 $S(x_c, y_c)$ 以及半径 r_c ，可以通过以下公式计算得到：

$$x_c = \frac{1}{3} \sum x_{ij}$$

$$y_c = \frac{1}{3} \sum y_{ij}$$

$$r_c = \frac{1}{6} \sum_{i \neq j} r_{ij}。$$

优选的，在计算每个剖面的轮廓之前，需要进行矫正，使矫正后三个摄像头的内参数相同，主视线在同一平面上，且主视线均为投影中心到系统坐标系原点的方向。

进一步的，校正的方法是：

三个摄像头单独定标，使用 matlab calibration toolbox，三个摄像头内参数分别为 K_1 ， K_2 ， K_3 ；

设定矫正转换公式：

$$p_i' = H_i p_i$$

其中 $i=1,2,3$ ， H_i 表示从未矫正的图像坐标 p_i 到矫正后的图像坐标 p_i' 的转换矩阵；其中，

$$H_i = K \bar{R}_i R_i^T K_i^{-1}$$

R_i 表示 i 号摄像头坐标系相对于系统坐标系的旋转矩阵，转换前后，摄像头位置保持不变，但转换后的旋转矩阵变换为： $\bar{R}_i = \overrightarrow{C_i O} / |\overrightarrow{C_i O}|$ ， C_i 点坐标为 $(x_i, y_i, 0)$ ， O 为系统坐标系原点；

代入矫正转换公式中即可得到矫正后的图像坐标 p_i' 。

优选的，将三个摄像头拍摄的二维图像纹理映射到三维手指模型中的方法是：

1) 重叠区域计算

首先，将三维手指模型坐标转化到图像坐标；以摄像头 i 为例，对每个圆模型，对应于一个摄像头的成像是竖直的一条线段，即是在图像中它们的纵坐标是相同的，设为 v ，至于对 v 的确定，应与建立圆模型时对应的边缘点所处位置纵坐标相同，如此，只关心横坐标 u ；这就是将二维的坐标转换为一维坐标的情况，于是可以得到如下坐标转换公式：

$$v_a \begin{bmatrix} u \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \theta_i & \cos \theta_i \\ -\cos \theta_i & -\sin \theta_i \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} - L_0 \begin{bmatrix} \sin \theta_i \\ \cos \theta_i \end{bmatrix} \right) + \begin{bmatrix} u_m \\ 0 \end{bmatrix}$$

其中 u 就是对应图像上的横坐标， v_a 是比例系数，它的作用是将计算结果纵坐标置为 1， θ_i 表示系统坐标系中 i 号摄像头所在方位与横轴正方向的夹角， L_0 是 i 号摄像头成像平面中心到系统坐标系的距离， u_m 是成像中心的横坐标， (x', y') 是圆上的点，它满足下面的方程：

$$\begin{bmatrix} x' - x_c & y' - y_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' - x_c & y' - y_c \end{bmatrix}^T = r_c^2$$

设定在圆模型下 i 号摄像头拍摄的范围为 $Area_i$ ，圆弧 $Area_i$ 的边界点则对应于拍摄的图像中手指的边缘点，所以，也即对应于目标函数 $\max(\min) F = u$ 的圆上坐标点，边界点 U_i 和 B_i ；以上述两个公式为约束条件，求出边界点坐标 U_i 和 B_i ；这样，每个摄像头拍摄范围的边界便可求得；

接下来是确定摄像头对应的圆弧，这里规定以顺时针方向为正方向，定义区域范围的起

始端和末端，圆弧的确定根据实际系统中摄像头摆放的方位来确定， i 号摄像头拍摄的范围应对应于 $\widehat{B_i U_i}$ ；

计算出每个摄像头拍摄的范围以后，即可得到两两摄像头拍摄的图像的重叠区域 $\widehat{B_i U_j}$ ；

2) 纹理映射

对于只有单个摄像头拍摄的区域，只用该摄像头拍摄的图像做映射，即根据坐标转换公式计算圆弧上的点对应的图像坐标，以该坐标下的像素灰度值作为该圆弧上的点的像素灰度值；

对于两个摄像头重叠的区域 $\widehat{B_2 U_3}$ ，则利用高斯图像融合的方法确定三维像素点的灰度值，方法是：

对 2 号摄像头和 3 号摄像头拍摄的区域，2 号摄像头拍摄区域为 $\widehat{B_2 U_2}$ ，3 号摄像头拍摄区域为 $\widehat{B_3 U_3}$ ，它们有重叠区域为 $\widehat{B_2 U_3}$ ；对重叠区域上的点 (x', y') ，利用公式计算它分别对应于 2 号摄像头和 3 号摄像头下的图像坐标，取两个图像坐标点的灰度值 $I_2(u_2, v_2)$ 和 $I_3(u_3, v_3)$ ，最后利用下面公式计算重叠区域上的点 (x', y') 的灰度值：

$$I(x', y') = \omega_2 I_2(u_2, v_2) + \omega_3 I_3(u_3, v_3)$$

其中 ω 是高斯权重，如果重叠部分属于本区域的末端，则权重值按公式 $g(p)$ 计算，如果属于起始端，则按公式 $1 - g(p)$ 计算，其中：

$$g(p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{p^2}{2\sigma^2}}$$

3σ = 重叠部分长度；

按类似方法处理任两个摄像头拍摄的图像，解决单个圆模型的纹理映射问题；对三维手指模型中的所有近似圆，按照上述方法分别计算三维坐标点的灰度值，最终得到三维手指静脉图像。

优选的，先将需要匹配的两个三维手指静脉纹理图像进行对齐，并分别展开成二维图像，再用二维图像的特征提取和匹配完成三维手指静脉纹理的匹配。

具体的，展开成二维图像的步骤是：

首先，将三维手指静脉纹理映射到一个给定大小的圆柱体上，相当于将每个圆归一化成一个固定大小的圆，针对于一个圆模型，从水平方向上的第一个点开始，进行等角度采样，共采样 N 个点，将每一个点对应到圆柱体对应位置圆上的相同角度的点上：

$$I(r \times \cos(\tilde{x}\alpha), r \times \sin(\tilde{x}\alpha), z) = I(r_c \times \cos(\tilde{x}\alpha) + x_c, r_c \times \sin(\tilde{x}\alpha) + y_c, z)$$

其中， $\alpha = 2\pi/N$ ， $\tilde{x} = 1, 2, 3, \dots, N$ ， $z = 1, 2, \dots, M$ 是 z 轴坐标， r 是给定圆柱体的半径， r_c 是三维手指静脉重建中圆模型的半径， (x_c, y_c) 是该圆模型的圆心位置；对所有圆模型进行处理后即可将静脉纹理映射到圆柱体侧面；

按下面的公式 1 沿一条母线将圆柱体侧面剪开，并展开成一幅 $M \times N$ 大小的二维图像。

$$I(\tilde{x}, \tilde{y}) = I(r \times \cos(\tilde{x}\alpha - \beta), r \times \sin(\tilde{x}\alpha - \beta), \tilde{y})$$

其中 β 表示母线所在的方位角。

进一步的，对于模板图像对应的圆柱体和待匹配图像对应的圆柱体，将它们展开成二维图像时母线所在的位置若不对应，则展开的两幅图像将存在偏移问题，为确保属于同一类对象的样本展开成二维图像之后能保持对应位置基本不变，提出下面的方法对三维手指静脉图像进行对齐，即确定 β 的值：

用 $\beta = k\beta_0$ ，代入上面的公式，其中 β_0 是搜索步长，取 $\pi/15$ ， $0 \leq k < 2\pi/\beta_0$ ， k 为整数；在待匹配三维图像展开成的二维图像中截取大小为 $M_0 \times N_0$ 的二维图像 I_{test}^k ，取 $M_0 = 1/3 \times M$ ， $N_0 = 1/3 \times N$ ；

在此，规定模板三维手指图像的旋转角度 $\beta = 0$ ，也即规定它展开成二维图像的母线位置为基准方位，取三维手指静脉模板图像展开成二维图像后的一个子图像块：

$$\begin{aligned} 0 &\leq \tilde{x} < M_0 \\ 0 &\leq \tilde{y} < N_0 \end{aligned}$$

得到一幅 $M_0 \times N_0$ 的二维图像 $I_{template}$ ，目的是在待匹配的三维图像中寻找一块与之匹配的图像块，从而实现待匹配三维图像与模板三维图像对齐；

然后计算所有 k 对应的二维图像与模板块 $I_{template}$ 的相似程度：

$$\max_{k \in [0, 2\pi/\beta_0)} J(k) = \text{corr}(I_{\text{template}}, I_{\text{test}}^k)$$

上式 corr 指计算两幅图像的相关性，取相关性最大值对应的 $k\beta_0$ 作为待匹配样本的旋转角度；

按此方法计算出母线的方向角以后，再按照公式 1 将待匹配的三维手指静脉图像展开成二维纹理图像，它与模板二维图像是对齐的。

具体的，二维图像的特征提取和匹配步骤是：

采用 LBP 算子提取静脉纹理的结构特征，然后采用曼哈顿距离计算方法进行特征匹配：

记模板样本的纹理特征向量为 $F_1 = [f_1^{(1)}, f_1^{(2)}, \dots, f_1^{(m)}]$ ，待匹配样本的纹理特征向量为 $F_2 = [f_2^{(1)}, f_2^{(2)}, \dots, f_2^{(m)}]$ ，这两个纹理特征的曼哈顿距离为：

$$D = \sum_{i=1}^m |f_1^{(i)} - f_2^{(i)}|$$

在决策阶段，采用单阈值法，如下式：

$$\begin{cases} \text{if } D > T & F_1 \text{与} F_2 \text{不匹配} \\ \text{else } D \leq T & F_1 \text{与} F_2 \text{匹配} \end{cases}$$

当计算的超过距离给定的阈值 T 时，认为两个样本相似度较小，判断它们不属于同一类对象；否则，认为两个样本的相似度高，判断它们属于同一类对象。

一种基于上述三维手指静脉识别方法的系统，包括上、下位机两部分；下位机包括光源控制模块和图像采集模块，光源控制模块包括依次相连的微处理器、驱动电路和近红外光源，图像采集模块包括采集图像的摄像头；上位机为装有实现手指静脉三维重建与识别的软件，上位机与光源控制模块的微处理器实现光源亮度控制信号的传递，与摄像头进行视频数据的传输；

下位机负责近红外光源强度的控制和图像信息的采集传输，上位机负责对采集到的数字图像进行处理、三维重建、特征提取与识别。

优选的，上位机与光源控制模块的微处理器通过串口实现光源亮度控制信号的传递，光源控制模块采用微处理器控制近红外光源的亮度，实现三个侧面的光源轮流照射手指。

优选的，上位机与摄像头通过 USB 方式进行视频数据的传输，摄像头采用近红外 USB

摄像头。

优选的，三个摄像头安装在等边三角形的三个顶点位置上，三个摄像头的主视线位于同一平面上且两两相交 120° ，在每个摄像头正对面设置了相应的 LED 近红外灯组。

优选的，下位机通过定时器产生 PWM 信号来控制近红外 LED 亮度，用串口中断接收上位机发送的控制命令。

本发明与现有技术相比，具有如下优点和有益效果：

本发明采用三个摄像头在等分角度下全方位拍摄手指静脉图像，然后进行三维手指静脉的重建以及三维手指静脉图像特征提取与匹配，采用的三个摄像头拍摄的手指静脉图像比单纯的一个摄像头拍摄手指内侧表皮下的手指静脉图像所包含的特征信息更多，而更多的信息意味着更准确的判断；本发明提出的三维手指静脉识别方法比传统的二维手指静脉识别而言，能够获得更多的静脉纹理特征，得到更好的识别效果，同时还可以有效的克服手指姿态变化带来的识别性能下降问题。

附图说明

图 1 是实施例 1 中三维手指静脉识别系统的图像采集装置图。

图 2 是实施例 1 中三维手指静脉识别系统的硬件结构图。

图 3 是实施例 1 中三维手指静脉识别系统的软件流程图。

图 4 是针孔模型原理示意图。

图 5 是实施例 2 中近似成像模型示意图。

图 6 是实施例 2 中圆近似法示意图。

图 7 是实施例 2 中系统坐标系建立示意图。

图 8 是实施例 2 中边界标定物示意图。

图 9 是实施例 2 中单个摄像头拍摄范围示意图。

图 10 是实施例 2 中纹理映射示意图。

图 11 是实施例 2 中三维手指静脉特征提取与特征匹配过程示意图。

图 12 是实施例 2 中三维手指静脉图。

图 13 是 LBP 下 2D 与 3D 方法等误率曲线。

图 14 是 HOG 下 2D 与 3D 方法等误率曲线。

具体实施方式

下面结合实施例及附图对本发明作进一步的描述，但本发明的实施方式不限于此。

实施例 1

一种三维手指静脉识别系统，如图 1 所示，它由硬件和软件两部分组成，其中硬件部分包括近红外图像采集设备，软件部分包括 PC 端手指静脉三维重建与识别算法；其中，硬件设备主要负责近红外光源强度的控制和图像信息的传输，软件部分负责对采集到的数字图像进行处理、三维重建、特征提取与识别。与现有的二维手指静脉识别系统不同，本系统使用了三个摄像头，以获得手指表皮下全部静脉图像，并通过提取出三维手指静脉纹理特征进行匹配。

1.1 硬件设计

系统硬件包括上、下位机两部分。下位机由光源控制模块和图像采集模块两个模块组成，前者采用微控制器控制近红外光源的亮度，实现三个侧面的光源轮流照射手指，后者采用 850nm 近红外 USB 摄像头（型号为 KS302D）采集图像。上位机为 PC 端，PC 端与微控制器通过串口实现光源亮度控制信号的传递，与摄像头通过 USB 方式进行视频数据的传输。其中，三维手指静脉图像采集装置结构示意图如图 1 所示，三个摄像头安装在等边三角形的三个顶点位置上，并依次编号。三个摄像头的主视线位于同一平面上且两两相交 120° 。静脉造影成像采用近红外光透射方式，在每个摄像头正对面设置了相应的 LED 近红外灯组，系统的硬件结构框图如图 2 所示。

1.2 软件设计

系统软件部分是系统的核心，主要负责系统流程控制，图像处理、三维重建和匹配，其

中下位机采用 Keil 开发单片机控制程序，上位机则采用 VS2013+OpenCV+OpneGL 开发集图像处理、三维重建，以及特征提取与匹配于一体的软件。下位机通过定时器产生 PWM 信号来控制近红外 LED 亮度，用串口中断接收上位机发送的控制命令；上位机首先是采集图像和控制下位机进行光源亮度的调节，然后对原始图像进行裁剪、去噪、轮廓提取等一系列的预处理操作；接着采用提出的三维重建算法构建手指三维模型，并将静脉纹理映射到三维手指模型上；最后根据特征提取方法实现匹配的功能。系统软件流程图如图 3 所示。

实施例 2

通过实施例 1 中的设备，采用三个摄像头在等分角度下全方位拍摄手指静脉图像，然后进行三维手指静脉的重建以及三维手指静脉图像特征提取与匹配。

1. 三维手指静脉的重建

人的手指在伸直的状态下，手指轴向的垂直剖面图近似于一个离心率接近于 1 的椭圆，但相对椭圆而言，圆的数学方程参数更少，比较容易计算出来，因此将手指剖面图近似视为一个圆；此时，可以用多个不同半径不同位置的圆来对手指近似建模。

由于人手指表面是比较光滑的，在每个摄像头拍摄的图像中，手指轮廓线的变化都是比较平缓的，因此在利用边缘点坐标计算圆参数时，即使三个视角的对应点存在一些偏差，对计算的结果影响也并不大。下面将详细阐述手指三维模型建立和静脉纹理映射的方法。

1.1 三维手指模型的建立

1.1.1 理想状态下的数学模型

首先，由于本系统采用的摄像头是几乎无畸变的，其成像模型可以用针孔模型近似，如图 4 所示。结合本系统的成像结构特点，三个摄像头选用同一型号同一参数的 CMOS 摄像头，手指放置时手指中轴位于三个摄像头的中心位置，并且手指中轴与三个摄像头投影中心所成的平面近似垂直。因此，提出依据手指轮廓线构建手指三维模型的方法，可以不考虑摄像头在手指轴向上采样的像素点不均匀的问题，而近似用如图 5 所示的立体结构来近似表达。这样，对于每一个剖面，用圆近似的几何模型就如图 6 所示，通过以下两步骤求解圆的大小和位置。

步骤一：将图像上的像素坐标变换到如图 6 所示的 xOy 坐标系中。

首先，三个摄像头的投影中心 C_1, C_2, C_3 的相对位置是已知的，以这三点的垂直平分线交点作为坐标原点 O ，以 C_2C_3 的中垂线作为 y 轴建立笛卡尔坐标系 xOy ，坐标系的原点 O 到 i 号摄像头的成像平面的距离为 L_0 （三个摄像头对应的 L_0 是相同的），设图像上一点坐标为 $A(x_0, y_0)$ ，将其变换至 xOy 坐标系中的成像 I_i 上，变换后的坐标为 $A'(x, y)$ ：

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \theta_i & \cos \theta_i \\ -\cos \theta_i & \sin \theta_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_0 - y_m \\ L_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中 θ_i 表示射线 OC_i 与 x 轴正向的夹角， $i=1,2,3$ ，下同， y_m 表示手指径向方向图像高度的一半。

这里，只需要转换手指轮廓边缘点的图像坐标到 xOy 坐标上，记 i 号摄像头拍摄的图像的手指上边缘点 P_{ui} 转换后的坐标为 $\bar{P}_{ui}(x_{ui}, y_{ui})$ ，下边缘点 P_{bi} 转换后的坐标点为 $\bar{P}_{bi}(x_{bi}, y_{bi})$ 。

步骤二：求圆参数。

由于每个摄像头的投影中心坐标是已知的，记为 $C_i(x_i, y_i)$ ，那么直线 $C_i\bar{P}_{ui}$ 的和直线 $C_i\bar{P}_{bi}$ 的方程是容易求出的，为方便叙述，统一使用斜截式，实际计算中，对1号摄像头的情况需要讨论斜率的存在性，此处不作过多叙述。

$$L_{ui} : y = k_{ui}x + b_{ui} \quad (2)$$

$$L_{bi} : y = k_{bi}x + b_{bi} \quad (3)$$

设圆 S 的圆心坐标为 (x_c, y_c) ，半径为 r_c ，那么圆心到各直线的距离为：

$$d_{ui} = \left| \frac{k_{ui}x_c - y_c + b_{ui}}{\sqrt{1 + k_{ui}^2}} \right| \quad (4)$$

$$d_{bi} = \left| \frac{k_{bi}x_c - y_c + b_{bi}}{\sqrt{1 + k_{bi}^2}} \right| \quad (5)$$

最优圆方程应该满足下列优化方程：

$$\min F = \sum_{i=1}^3 \left(|d_{ui}^2 - r_c^2| + |d_{bi}^2 - r_c^2| \right) \quad (6)$$

这个优化问题的意义在于：使求取的圆尽可能与直线 L_{ui}, L_{bi} 相切。计算时，由于各直线方程已求出，即 k_{ui}, b_{ui} 是已知量，将距离公式(4)(5)代入优化公式(6)，消去 d_{ui} 和 d_{bi} ，得到

F 实际上是关于 x_c, y_c, r_c 的方程, 通过梯度下降法或其它优化问题求解算法即可求出圆参数, 但是, 这种方法计算量非常大, 且未必能求出全局最优解, 退而求其次, 接下来给出另外一种较为简单的方法, 该方法求得的结果不一定是最优解, 但已满足需要。注意到, 最理想情况下, L_{ui} 与 L_{bi} 的角平分线就是过圆心的直线, 于是可以通过计算角平分线交点得到圆心坐标, 进而计算出圆半径, 具体计算方法如下:

(1) 计算角平分线

这两条直线的角平分线方程为 $L_i: y = k_i x + b_i$, 有方程组:

$$\begin{cases} |k_i - k_{ui}| / (1 + k_i k_{ui}) = |k_i - k_{bi}| / (1 + k_i k_{bi}) \\ y_i = k_i x_i + b_i \end{cases} \quad (7)$$

另外, 由先验知识可知: $|k_1| > 1$, $k_2 > 0$, $k_3 < 0$, 这样, 对于每一个摄像头对应的方程组都有唯一的解。

(2) 求圆心坐标及半径

由上一步求得的三条角平分线方程, 每两条直线有一个交点, 记 L_i 与 L_j 的交点为 $P_{ij}(x_{ij}, y_{ij})$, 其中:

$$x_{ij} = -(b_i - b_j) / (k_i - k_j) \quad (8)$$

$$y_{ij} = k_i x_{ij} + b_i \quad (9)$$

记 P_{ij} 到 L_{ui} 和 L_{uj} 的距离分别为 r_{ij} 、 r_{ji} , 可以通过点到直线的距离公式计算得到, 因此, 最终的圆心坐标 $S(x_c, y_c)$ 以及半径 r_c , 可以通过以下公式 (10)–(12) 计算得到:

$$x_c = \frac{1}{3} \sum x_{ij} \quad (10)$$

$$y_c = \frac{1}{3} \sum y_{ij} \quad (11)$$

$$r_c = \frac{1}{6} \sum_{i \neq j} r_{ij} \quad (12)$$

至此, 已完成用圆来近似表示一个手指轴向剖面的轮廓, 将三维手指等距离分割成若干个 (文中是 300 个) 剖面, 计算每个剖面的轮廓, 再将所有轮廓按手指中轴方向串接起来, 即可获得近似的手指三维模型。但是, 由于受到摄像头制造工艺上的差异、硬件安装时缺乏超

精确的定位方法等因素的影响, 硬件结构往往无法保证与理想模型保持一致, 所以一般需要对系统做一些矫正处理。

1.1.2 一般状态到理想状态的矫正方法

矫正的目的是使矫正后三个摄像头的内参数相同, 主视线在同一平面上, 且主视线均为投影中心到系统坐标系原点的方向。此处提出的矫正算法由下面三个步骤组成:

(1) 摄像机标定

三个摄像头单独定标, 使用 matlab calibration toolbox, 三个摄像头内参数分别为 K_1 , K_2 , K_3 ;

摄像头两两标定, 得到相对位置参数 R_{ij} , t_{ij} , 其中 $i=1,2; j=2,3; i \neq j$, R_{ij} 表示 j 号摄像头摄影中心相对于 i 号摄像头摄影中心的旋转矩阵, t_{ij} 表示 j 号摄像头相对于 i 号摄像头的偏移矩阵。其中

$$t_{ij} = \begin{bmatrix} x_t \\ y_t \\ z_t \end{bmatrix}_{ij}, \quad R_{ij} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \psi & \sin \psi \\ 0 & -\sin \psi & \cos \psi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & -\sin \phi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \phi & 0 & \cos \phi \end{bmatrix} \quad (13)$$

θ 为绕 z 轴的旋转角度, ψ 为绕 y 轴的旋转角度, ϕ 为绕轴的旋转角度, xyz 轴指的是系统坐标系的坐标轴。

(2) 系统坐标系建立

理论上向量 t_{12} , t_{13} , t_{23} 是共面的, 但通过摄像头标定计算后的结果极大可能不是共面的, 用下面的方法来建立三个摄影中心的位置关系:

如图 7, 先以 1 号摄像头坐标系 $C_1x'y'z'$ 为基准。由 t_{12} 、 t_{13} 确定 A' 、 B' , 于是可以得到它们的中点 D , 平移向量 t_{23} 使其中点过 D 点, 于是有平移后的向量 t_{23} 的起点 A'' 和终点 B'' , 记 $A'A''$ 的中点为 C_2 , $B'B''$ 的中点为 C_3 。最后, 以三个摄像头投影中心所组成的平面 $C_1C_2C_3$ 为 xy 平面, 以 $C_1C_2C_3$ 的角平分线交点为坐标原点 O , 以 C_2C_3 的角平分线为 x 轴建立坐标系, 如图 7 所示, 从 $C_1x'y'z'$ 到坐标系 $Oxyz$ 的平移矩阵 t_s 和旋转矩阵 R_s 是容易求得的, 即可建立系统坐标系。

(3) 矫正

设定矫正转换公式:

$$p_i' = H_i p_i \quad (14)$$

其中 $i=1,2,3$ ， H_i 表示从未矫正的图像坐标 p_i 到矫正后的图像坐标 p_i' 的转换矩阵；

假定空间坐标为 P ，根据投影公式有，矫正前：

$$p_i = K_i \begin{bmatrix} R_i & t_i \\ 0 & 1 \end{bmatrix} P \quad (15)$$

其中， R_i 表示 i 号摄像头坐标系相对于系统坐标系的旋转矩阵，转换前后，摄像头位置保持不变，但转换后的旋转矩阵变换为： $\bar{R}_i = \overline{C_i O} / \left| \overline{C_i O} \right|$ ，其中， C_i 点坐标为 (x_i, y_i) ， O 为系统坐标系原点，于是，转换后有投影公式：

$$p_i' = K \begin{bmatrix} \bar{R}_i & t_i \\ 0 & 1 \end{bmatrix} P \quad (16)$$

有解：

$$H_i = K \bar{R}_i R_i^T K_i^{-1} \quad (17)$$

至此，系统模型已与理想模型等价，便可以运用理想模型下的三维重建算法构建手指的三维模型了。需要指出的是，对于边缘点对应位置的确定，考虑到在一般情况下，成年人的手指粗细程度相差不会非常大，所以，采用一个跟普通人的手指粗细程度相当的圆柱体作为标定物，如图 8 所示，这个标定物标记了几个圆，以圆在三个摄像头中的成像位置标记三个视图对应点的位置。

2.2 静脉纹理映射

建立完成三维手指模型之后，接下来就是将三个摄像头拍摄的二维图像纹理映射到三维手指模型中，由图 6 可以发现，三个摄像头拍摄的图像既有两两重叠的部分，又有非重叠的部分，而对这两种情况处理方法是有所差异的。所以，先要确定重叠区域，然后对重叠区域和非重叠部分分别做不同的处理。从部分到整体的思维，只需研究单个圆模型下的纹理映射方法，即可推广到所有圆模型，完成这个三维手指的纹理映射。

(1) 重叠区域计算

首先，将系统坐标转化到图像坐标。如图 9 所示，以 3 号摄像头为例，对每个圆模型，对应于一个摄像头的成像是竖直的一条线段，即是在图像中它们的纵坐标是相同的，设为 v ，至于对 v 的确定，应与建立圆模型时对应的边缘点所处位置纵坐标相同，如此，只关心横坐

标 u 。这就是将二维的坐标转换为一维坐标的情况，于是可以得到如下公式(18)：

$$v_a \begin{bmatrix} u \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \theta_i & \cos \theta_i \\ -\cos \theta_i & -\sin \theta_i \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} - L_0 \begin{bmatrix} \sin \theta_i \\ \cos \theta_i \end{bmatrix} \right) + \begin{bmatrix} u_m \\ 0 \end{bmatrix} \quad (18)$$

其中 u 就是对应图像上的横坐标， v_a 是比例系数，它的作用是将计算结果纵坐标置为 1， θ_i 表示系统坐标系中 i 号摄像头所在方位与横轴正方向的夹角， L_0 是 i 号摄像头成像平面中心到系统坐标系的距离， u_m 是成像中心的横坐标， (x', y') 是圆上的点，它满足下面的方程(19)：

$$\begin{bmatrix} x' - x_c & y' - y_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' - x_c & y' - y_c \end{bmatrix}^T = r_c^2 \quad (19)$$

设定在圆模型下 i 号摄像头拍摄的范围为 $Area_i$ ，其边界点（即圆弧 $Area_i$ 的边界点）则对应于拍摄的图像中手指的边缘点，所以，也即对应于目标函数 $\max(\min) F = u$ 的圆上坐标点（边界点 U_i 和 B_i ）。以公式(18)和公式(19)为约束条件，利用梯度下降法是容易求出边界点坐标 U_i 和 B_i 的。也可以直接根据直线与圆相切的方法求出这两个坐标点。这样，每个摄像头拍摄范围的边界便可求得。

接下来是确定摄像头对应的圆弧，这里规定以顺时针方向为正方向，定义区域范围的起始端和末端，圆弧的确定根据实际系统中摄像头摆放的方位来确定，例如在图 9 中 3 号摄像头拍摄的范围应对应于 $\widehat{B_3 U_3}$ 。

计算出每个摄像头拍摄的范围以后，两两摄像头拍摄的图像的重叠区域就非常明显了，例如：假设 2 号摄像头（其位置参考图 6）对应的范围为 $\widehat{B_2 U_2}$ ，那么，2 号摄像头和 3 号摄像头拍摄的重叠区域就对应于 $\widehat{B_2 U_3}$ 。

(2) 纹理映射

接下来讨论如何将二维图像的纹理映射到三维手指模型中，同样的，只需讨论一个圆模型下的处理方法。

如图 10 所示，仍以 2 号摄像头和 3 号摄像头拍摄的区域为例，2 号摄像头拍摄区域为 $\widehat{B_2 U_2}$ ，3 号摄像头拍摄区域为 $\widehat{B_3 U_3}$ ，它们有重叠区域为 $\widehat{B_2 U_3}$ 。对于只有单个摄像头拍摄的区域（如 $\widehat{U_3 B_1}$ 属于只有 2 号摄像头拍摄的区域），只用该摄像头拍摄的图像做映射，即根据公式(18)计算圆弧上的点对应的图像坐标，以该坐标下的像素灰度值作为该圆弧上的点的像素灰度值；

对于两个摄像头重叠的区域 $\widehat{B_2U_3}$ ，则利用高斯图像融合的方法确定三维像素点的灰度值，方法是：对重叠区域上的点 (x', y') ，利用公式(18)计算它分别对应于 2 号摄像头和 3 号摄像头下的图像坐标，取两个图像坐标点的灰度值 $I_2(u_2, v_2)$ 和 $I_3(u_3, v_3)$ ，最后利用下面公式(20)计算重叠区域上的点 (x', y') 的灰度值：

$$I(x', y') = \omega_2 I_2(u_2, v_2) + \omega_3 I_3(u_3, v_3) \quad (20)$$

其中 ω 是高斯权重，如果重叠部分属于本区域的末端，则权重值按公式 $g(p)$ 计算，如果属于起始端，则按公式 $1 - g(p)$ 计算，其中：

$$g(p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{p^2}{2\sigma^2}} \quad (21)$$

3σ =重叠部分长度。按类似方法处理任两个摄像头拍摄的图像，解决单个圆模型的纹理映射问题。对三维手指模型中的所有近似圆，按照上述方法分别计算三维坐标点的灰度值，最终得到三维手指静脉图像。

3. 三维手指静脉图像特征提取与匹配

基于三维的生物特征识别，在人脸和指纹识别领域中有不少的研究。三维图像的特征提取可以用以下两种思路进行，一种思路是在三维坐标下提取特征点，构成特征向量，如有文献将指纹识别特征提取算法中将二维细节点概念扩展到三维，并通过计算两个样本中细节点间的距离得到两个样本匹配分数；另一种思路，将三维图像再经过特殊变换转成二维图像，然后用已有的二维图像特征提取方法进行特征提取，如有文献将三维指纹图像映射到一个圆柱体上，再展开成二维图像后进行下一步处理。在获取特征向量以后，对样本匹配的方法是定义一种特征描述子之间的距离度量函数计算样本间的距离值，距离计算方法有：曼哈顿距离、欧式距离、马氏距离等等，然后用单阈值法、最近邻法等给出最终匹配决策。

如图 11 所示，为实施例提出的三维手指静脉特征提取与匹配的方法流程图。首先对采集的模板样本的三张二维图像和待匹配样本的三张二维图像按上述的三维手指静脉重建方法生成手指静脉的三维图像。由于对手指放置并未作过多约束，因此，一般而言两个样本之间可能存在一定的绕轴的旋转偏差。针对这个问题，本实施例采用的方法是：先将需要匹配的两个三维手指静脉纹理图像进行对齐，并分别展开成二维图像，再用二维图像的特征提取和匹配完成三维手指静脉纹理的匹配。具体描述如下。

3.1 特征提取

众所周知，圆柱体沿一条母线剪开之后能展开成矩形，人体手指三维结构近似于圆柱体模型，如果要将三维手指表皮静脉展开成一幅二维图像，可以先将三维手指静脉映射到一个圆柱体上，然后再展开成二维图像。

首先，将三维手指静脉纹理映射到一个给定大小的圆柱体上，相当于将每个圆归一化成一个固定大小的圆，针对于一个圆模型，从水平方向上的第一个点开始，进行等角度采样，共采样 N 个点，将每一个点对应到圆柱体对应位置圆上的相同角度的点上：

$$I(r \times \cos(\tilde{x}\alpha), r \times \sin(\tilde{x}\alpha), z) = I(r_c \times \cos(\tilde{x}\alpha) + x_c, r_c \times \sin(\tilde{x}\alpha) + y_c, z) \quad (22)$$

其中， $\alpha = 2\pi/N$ ， $\tilde{x} = 1, 2, 3, \dots, N$ ， $z = 1, 2, \dots, M$ 是 z 轴坐标， r 是给定圆柱体的半径， r_c 是三维手指静脉重建中圆模型的半径， (x_c, y_c) 是该圆模型的圆心位置。对所有圆模型进行处理后即可将静脉纹理映射到圆柱体侧面。紧接着，按公式 (23) 沿一条母线将圆柱体侧面剪开，并展开成一幅 $M \times N$ 大小的二维图像。

$$I(\tilde{x}, \tilde{y}) = I(r \times \cos(\tilde{x}\alpha - \beta), r \times \sin(\tilde{x}\alpha - \beta), \tilde{y}) \quad (23)$$

其中 β 表示母线所在的方位角，其它符号的意义与公式 (22) 相同。对于模板图像对应的圆柱体和待匹配图像对应的圆柱体，将它们展开成二维图像时母线所在的位置若不对应，则展开的两幅图像将存在偏移问题，为确保属于同一类对象的样本展开成二维图像之后能保持对应位置基本不变，提出下面的方法对三维手指静脉图像进行对齐（即确定 β 的值）：

在此，规定模板三维手指图像的旋转角度 $\beta = 0$ ，也即规定它展开成二维图像的母线位置为基准方位，取三维手指静脉模板图像展开成二维图像后的一个子图像块：

$$\begin{aligned} 0 &\leq \tilde{x} < M_0 \\ 0 &\leq \tilde{y} < N_0 \end{aligned}$$

得到一幅 $M_0 \times N_0$ 的二维图像 $I_{template}$ ，取 $M_0 = 1/3 \times M$ ， $N_0 = 1/3 \times N$ ，目的是在待匹配的三维图像中寻找一块与之匹配的图像块，从而实现待匹配三维图像与模板三维图像对齐。用 $\beta = k\beta_0$ （其中 β_0 是搜索步长，取 $\pi/15$ ， $0 \leq k < 2\pi/\beta_0$ ， k 为整数）代入公式 (23)，同样在待匹配三维图像展开成的二维图像中截取大小为 $M_0 \times N_0$ 的二维图像 I_{test}^k ，然后计算所有 k 对应的二维图像与模板块 $I_{template}$ 的相似程度：

$$\max_{k \in [0, 2\pi/\beta_0)} J(k) = \text{corr}(I_{template}, I_{test}^k) \quad (24)$$

上式 $corr$ 指计算两幅图像的相关性, 取相关性最大值对应的 $k\beta_0$ 作为待匹配样本的旋转角度。按此方法计算出母线的方向角以后, 再按照公式 (23) 将待匹配的三维手指静脉图像展开成二维纹理图像, 它与模板二维图像是对齐的。

将三维手指静脉图像展开成二维图像之后, 即可利用二维图像的特征提取算法提取特征。由于光照变化、手指形变、噪声干扰等, 从静脉图像获取到的细节特征并非很稳定, 且细节点特征对手指偏移的鲁棒性不高。相对而言静脉纹路的结构特征, 对于噪声干扰、光照变化、手指形变等影响因素具有较强的鲁棒性, 因此采用简单高效的 LBP 算子 [1] 提取静脉纹路的结构特征。

3.2 特征匹配

在模式识别领域, 计算两个样本的距离度量方式有很多种, 这里采用计算复杂度最小的曼哈顿距离计算方法, 也是最简单的一种模板匹配法。记模板样本的纹理特征向量为 $F_1 = [f_1^{(1)}, f_1^{(2)}, \dots, f_1^{(m)}]$, 待匹配样本的纹理特征向量为 $F_2 = [f_2^{(1)}, f_2^{(2)}, \dots, f_2^{(m)}]$, 这两个纹理特征的曼哈顿距离为:

$$D = \sum_{i=1}^m |f_1^{(i)} - f_2^{(i)}| \quad (25)$$

在决策阶段, 采用单阈值法, 当计算的超过给定的阈值 T 时, 认为两个样本相似度较小, 判断它们不属于同一类对象, 否则, 认为两个样本的相似度高, 判断它们属于同一类对象。

$$\begin{cases} \text{if } D > T & F_1 \text{与} F_2 \text{不匹配} \\ \text{else } D \leq T & F_1 \text{与} F_2 \text{匹配} \end{cases} \quad (26)$$

采用实施例 1 提出三维手指静脉成像系统采集全方位的手指表皮静脉图像, 以实施例 2 提出的圆近似法构建手指三维模型, 并将二维的纹理映射到三维手指模型上, 得到的三维手指图像如图 12 所示, 图中每一行是同一根手指在不同视角下的观察图, 这里共展示三根不同手指的三维手指静脉重建效果。可以看到, 实施例 2 方法重建出的三维手指静脉模型逼真程度很高, 包括手指的大小、弯曲程度等都与真实情况相符, 在静脉纹理方面也基本还原了人体手指表皮静脉分布情况。

征集了 11 名志愿者采集手指静脉图像数据, 为保证采集方式的友好性, 不对志愿者做过多要求, 志愿者在采集数据时可采用比较自然的状态将手指置于装置上。对每个志愿者采集

了左右手食指和中指共四根手指的数据，每根手指采集图像四次，总共有 44 根手指的三个视角的图像，作为实验的数据。然后，采用本实施例提出的方法，进行三维手指静脉图像的特征提取和匹配试验。为了说明本方法的有效性，将其与二维静脉图像识别结果进行比较。为了保证比较的公平性和有效性，选择对 1 号摄像头采集的二维静脉图像进行二维静脉图像识别实验，因 1 号摄像头位于手指内侧表皮下，这与传统二维手指静脉成像系统中摄像头的放置位置一致，实验结果如图 13 所示。

图 13 采用的是 LBP 算子提取纹理特征，从图中可以发现，使用三维手指静脉纹理特征的识别效果要比传统的使用二维手指静脉纹理特征的效果要好。因为实施例 1 中的系统采用的三个摄像头拍摄的手指静脉图像比单纯的一个摄像头拍摄手指内侧表皮下的手指静脉图像所包含的特征信息更多，而更多的信息意味着更准确的判断。另外，还采用 HOG 算子提取纹理特征进行实验，结果如图 14 所示，可以发现，仍然可以得出相同的结论，用本实施例提出的三维的方法可以获得更好的匹配结果，进一步验证了本方法的有效性。

在等误率方面，如表 1 所示，使用三维的方案进行匹配的等误率达到 2.273(使用 HOG 算子时等误率达到 1.515%)，其结果比现有的采用二维手指静脉图像进行匹配的等误率 4.167%(使用 HOG 算子时等误率为 3.788%)具有明显的提升效果。

表 1 不同方法的等误率

	LBP	HOG
2D 纹理	4.167	3.788
3D 纹理	2.273	1.515

综上，实施例 1 和实施例 2 提出了一种全新的三维手指静脉识别系统，采用了三个摄像头拍摄全方位手指表皮下的静脉图像，根据硬件结构特点提出了一种用圆拟合手指剖面线的方法构建手指三维模型，同时将三个视角下拍摄的二维手指静脉映射到三维手指模型中，提出了一种三维手指静脉纹理特征提取方法，完整实现了一个基于三维手指静脉数据的身份认证系统，实验结果表明实施例提出的三维手指静脉识别系统比传统的二维手指静脉识别系统而言，能够获得更多的静脉纹理特征，得到更好的识别效果，同时还可以有效的克服手指姿态变化带来的识别性能下降问题。

参考文献：

[1] Ojala T, Pietikäinen M, Harwood D. A comparative study of texture measures with classification based on featured distributions[J]. Pattern recognition, 1996, 29(1): 51-59.

上述实施例为本发明较佳的实施方式，但本发明的实施方式并不受上述实施例的限制，其他的任何未背离本发明的精神实质与原理下所作的改变、修饰、替代、组合、简化，均应为等效的置换方式，都包含在本发明的保护范围之内。

权利要求书

1、一种三维手指静脉识别方法，其特征在于，包括以下步骤：

S1、三个摄像头在等分角度下从三个角度拍摄手指静脉图像，获得三幅图像；

S2、依据手指轮廓线构建手指三维模型：

将手指剖面图近似视为一个圆 S ，将三维手指等距离分割成若干个剖面，计算每个剖面的轮廓，用多个不同半径不同位置的圆来对手指近似建模；再将所有轮廓按手指中轴方向串接起来，即可获得近似的手指三维模型；

S3、建立完成三维手指模型之后，接下来将三个摄像头拍摄的二维图像纹理映射到三维手指模型中；三个摄像头拍摄的图像既有两两重叠的部分，又有非重叠的部分，先要确定重叠区域，然后对重叠区域和非重叠区域分别做不同的处理；得到三维手指静脉图像；

S4、对三维手指静脉图像进行特征提取与匹配，最终完成识别。

2、根据权利要求 1 所述的三维手指静脉识别方法，其特征在于，计算每个剖面的轮廓的方法是：

1) 根据三个摄像头的投影中心 C_1, C_2, C_3 建立 xOy 坐标系：以这三点的垂直平分线交点作为坐标原点 O ，以 C_2C_3 的中垂线作为 y 轴建立笛卡尔坐标系 xOy ；将图像上的像素坐标变换到 xOy 坐标系中：

坐标系的原点 O 到 i 号摄像头的成像平面的距离为 L_0 ，设图像上一点坐标为 $A(x_0, y_0)$ ，将其变换至 xOy 坐标系中的成像 I_i 上，变换后的坐标为 $A'(x, y)$ ：

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \theta_i & \cos \theta_i \\ -\cos \theta_i & \sin \theta_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_0 - y_m \\ L_0 \end{bmatrix}$$

其中 θ_i 表示射线 OC_i 与 x 轴正向的夹角， $i=1, 2, 3$ ， y_m 表示手指径向方向图像高度的一半；

这里，只需要转换手指上下边缘点的图像坐标到 xOy 坐标上，记 i 号摄像头拍摄的图像的手指上边缘点 P_{ui} 转换后的坐标为 $\bar{P}_{ui}(x_{ui}, y_{ui})$ ，下边缘点 P_{bi} 转换后的坐标点为 $\bar{P}_{bi}(x_{bi}, y_{bi})$ ；

2) 求圆 S 参数；

每个摄像头的投影中心坐标是已知的，记为 $C_i(x_i, y_i)$ ，求出直线 $C_i\bar{P}_{ui}$ 的和直线 $C_i\bar{P}_{bi}$ 的方程：

$$L_{ui} : y = k_{ui}x + b_{ui}$$

$$L_{bi} : y = k_{bi}x + b_{bi}$$

设圆 S 的圆心坐标为 (x_c, y_c) ，半径为 r_c ，那么圆心到各直线的距离为：

$$d_{ui} = \left| \frac{k_{ui}x_c - y_c + b_{ui}}{\sqrt{1 + k_{ui}^2}} \right|$$

$$d_{bi} = \left| \frac{k_{bi}x_c - y_c + b_{bi}}{\sqrt{1 + k_{bi}^2}} \right|$$

最优圆方程应该满足下列优化方程：

$$\min F = \sum_{i=1}^3 (|d_{ui}^2 - r_c^2| + |d_{bi}^2 - r_c^2|)$$

通过优化问题求解算法或者通过梯度下降法求解算法求解出圆参数 x_c, y_c, r_c 。

3、根据权利要求 2 所述的三维手指静脉识别方法，其特征在于，可采用近似方法求解出圆参数：

1) 计算 L_{ui} 与 L_{bi} 的角平分线；

这两条直线的角平分线方程为 $L_i : y = k_i x + b_i$ ，有方程组：

$$\begin{cases} |k_i - k_{ui}| / (1 + k_i k_{ui}) = |k_i - k_{bi}| / (1 + k_i k_{bi}) \\ y_i = k_i x_i + b_i \end{cases}$$

由先验知识可知： $|k_1| > 1$ ， $k_2 > 0$ ， $k_3 < 0$ ，这样，对于每一个摄像头对应的方程组都有唯一的解；

2) 求圆心坐标及半径

由上一步求得的三条角平分线方程，每两条直线有一个交点，记 L_i 与 L_j 的交点为 $P_{ij}(x_{ij}, y_{ij})$ ，其中：

$$x_{ij} = -(b_i - b_j) / (k_i - k_j)$$

$$y_{ij} = k_i x_{ij} + b_i$$

记 P_{ij} 到 L_{ui} 和 L_{uj} 的距离分别为 r_{ij} 、 r_{ji} ，可以通过点到直线的距离公式计算得到，因此，最终的圆心坐标 $S(x_c, y_c)$ 以及半径 r_c ，可以通过以下公式计算得到：

$$x_c = \frac{1}{3} \sum x_{ij}$$

$$y_c = \frac{1}{3} \sum y_{ij}$$

$$r_c = \frac{1}{6} \sum_{i \neq j} r_{ij}。$$

4、根据权利要求 1 所述的三维手指静脉识别方法，其特征在于，在计算每个剖面的轮廓之前，需要进行矫正，使矫正后三个摄像头的内参数相同，主视线在同一平面上，且主视线均为投影中心到系统坐标系原点的方向。

5、根据权利要求 4 所述的三维手指静脉识别方法，其特征在于，校正的方法是：

三个摄像头单独定标，使用 matlab calibration toolbox，三个摄像头内参数分别为 K_1 ， K_2 ， K_3 ；

设定矫正转换公式：

$$p_i' = H_i p_i$$

其中 $i=1,2,3$ ， H_i 表示从未矫正的图像坐标 p_i 到矫正后的图像坐标 p_i' 的转换矩阵；其中，

$$H_i = K \bar{R}_i R_i^T K_i^{-1}$$

R_i 表示 i 号摄像头坐标系相对于系统坐标系的旋转矩阵，转换前后，摄像头位置保持不变，但转换后的旋转矩阵变换为： $\bar{R}_i = \overrightarrow{C_i O} / |\overrightarrow{C_i O}|$ ， C_i 点坐标为 (x_i, y_i) ， O 为系统坐标系原点；

代入矫正转换公式中即可得到矫正后的图像坐标 p_i' 。

6、根据权利要求 1 所述的三维手指静脉识别方法，其特征在于，将三个摄像头拍摄的二维图像纹理映射到三维手指模型中的方法是：

1) 重叠区域计算

首先, 将三维手指模型坐标转化到图像坐标; 以摄像头*i*为例, 对每个圆模型, 对应于一个摄像头的成像是竖直的一条线段, 即是在图像中它们的纵坐标是相同的, 设为*v*, 至于对*v*的确定, 应与建立圆模型时对应的边缘点所处位置纵坐标相同, 如此, 只关心横坐标*u*; 这就是将二维的坐标转换为一维坐标的情况, 于是可以得到如下坐标转换公式:

$$v_a \begin{bmatrix} u \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \theta_i & \cos \theta_i \\ -\cos \theta_i & -\sin \theta_i \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} - L_0 \begin{bmatrix} \sin \theta_i \\ \cos \theta_i \end{bmatrix} \right) + \begin{bmatrix} u_m \\ 0 \end{bmatrix}$$

其中*u*就是对应图像上的横坐标, *v_a*是比例系数, 它的作用是将计算结果纵坐标置为1, θ_i 表示系统坐标系中*i*号摄像头所在方位与横轴正方向的夹角, *L₀*是*i*号摄像头成像平面中心到系统坐标系的距离, *u_m*是成像中心的横坐标, (*x'*, *y'*)是圆上的点, 它满足下面的方程:

$$\begin{bmatrix} x' - x_c & y' - y_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' - x_c & y' - y_c \end{bmatrix}^T = r_c^2$$

设定在圆模型下*i*号摄像头拍摄的范围为*Area_i*, 圆弧*Area_i*的边界点则对应于拍摄的图像中手指的边缘点, 所以, 也即对应于目标函数 $\max(\min) F = u$ 的圆上坐标点, 边界点*U_i*和*B_i*; 以上述两个公式为约束条件, 求出边界点坐标*U_i*和*B_i*; 这样, 每个摄像头拍摄范围的边界便可求得;

接下来是确定摄像头对应的圆弧, 这里规定以顺时针方向为正方向, 定义区域范围的起始端和末端, 圆弧的确定根据实际系统中摄像头摆放的方位来确定, *i*号摄像头拍摄的范围应对应于 $\widehat{B_i U_i}$;

计算出每个摄像头拍摄的范围以后, 即可得到两两摄像头拍摄的图像的重叠区域 $\widehat{B_i U_j}$;

2) 纹理映射

对于只有单个摄像头拍摄的区域, 只用该摄像头拍摄的图像做映射, 即根据坐标转换公式计算圆弧上的点对应的图像坐标, 以该坐标下的像素灰度值作为该圆弧上的点的像素灰度值;

对于两个摄像头重叠的区域 $\widehat{B_2 U_3}$, 则利用高斯图像融合的方法确定三维像素点的灰度值, 方法是:

对 2 号摄像头和 3 号摄像头拍摄的区域, 2 号摄像头拍摄区域为 $\widehat{B_2 U_2}$, 3 号摄像头拍摄区域为 $\widehat{B_3 U_3}$, 它们有重叠区域为 $\widehat{B_2 U_3}$; 对重叠区域上的点 (x', y') , 利用公式计算它分别对应于 2 号摄像头和 3 号摄像头下的图像坐标, 取两个图像坐标点的灰度值 $I_2(u_2, v_2)$ 和 $I_3(u_3, v_3)$, 最后利用下面公式计算重叠区域上的点 (x', y') 的灰度值:

$$I(x', y') = \omega_2 I_2(u_2, v_2) + \omega_3 I_3(u_3, v_3)$$

其中 ω 是高斯权重, 如果重叠部分属于本区域的末端, 则权重值按公式 $g(p)$ 计算, 如果属于起始端, 则按公式 $1 - g(p)$ 计算, 其中:

$$g(p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{p^2}{2\sigma^2}}$$

3σ = 重叠部分长度;

按类似方法处理任两个摄像头拍摄的图像, 解决单个圆模型的纹理映射问题; 对三维手指模型中的所有近似圆, 按照上述方法分别计算三维坐标点的灰度值, 最终得到三维手指静脉图像。

7、根据权利要求 1 所述的三维手指静脉识别方法, 其特征在于, 先将需要匹配的两个三维手指静脉纹理图像进行对齐, 并分别展开成二维图像, 再用二维图像的特征提取和匹配完成三维手指静脉纹理的匹配。

8、根据权利要求 7 所述的三维手指静脉识别方法, 其特征在于, 展开成二维图像的步骤是:

首先, 将三维手指静脉纹理映射到一个给定大小的圆柱体上, 相当于将每个圆归一化成一个固定大小的圆, 针对于一个圆模型, 从水平方向上的第一个点开始, 进行等角度采样, 共采样 N 个点, 将每一个点对应到圆柱体对应位置圆上的相同角度的点上:

$$I(r \times \cos(\tilde{x}\alpha), r \times \sin(\tilde{x}\alpha), z) = I(r_c \times \cos(\tilde{x}\alpha) + x_c, r_c \times \sin(\tilde{x}\alpha) + y_c, z)$$

其中, $\alpha = 2\pi/N$, $\tilde{x} = 1, 2, 3, \dots, N$, $z = 1, 2, \dots, M$ 是 z 轴坐标, r 是给定圆柱体的半径, r_c 是三维手指静脉重建中圆模型的半径, (x_c, y_c) 是该圆模型的圆心位置; 对所有圆模型进行处理后即可将静脉纹理映射到圆柱体侧面;

按下面的公式 1 沿一条母线将圆柱体侧面剪开，并展开成一幅 $M \times N$ 大小的二维图像。

$$I(\tilde{x}, \tilde{y}) = I(r \times \cos(\tilde{x}\alpha - \beta), r \times \sin(\tilde{x}\alpha - \beta), \tilde{y})$$

其中 β 表示母线所在的方位角。

9、根据权利要求 8 所述的三维手指静脉识别方法，其特征在于，对于模板图像对应的圆柱体和待匹配图像对应的圆柱体，将它们展开成二维图像时母线所在的位置若不对应，则展开的两幅图像将存在偏移问题，为确保属于同一类对象的样本展开成二维图像之后能保持对应位置基本不变，提出下面的方法对三维手指静脉图像进行对齐，即确定 β 的值：

用 $\beta = k\beta_0$ ，代入上面的公式，其中 β_0 是搜索步长，取 $\pi/15$ ， $0 \leq k < 2\pi/\beta_0$ ， k 为整数；在待匹配三维图像展开成的二维图像中截取大小为 $M_0 \times N_0$ 的二维图像 I_{test}^k ，取 $M_0 = 1/3 \times M$ ， $N_0 = 1/3 \times N$ ；

在此，规定模板三维手指图像的旋转角度 $\beta = 0$ ，也即规定它展开成二维图像的母线位置为基准方位，取三维手指静脉模板图像展开成二维图像后的一个子图像块：

$$\begin{aligned} 0 &\leq \tilde{x} < M_0 \\ 0 &\leq \tilde{y} < N_0 \end{aligned}$$

得到一幅 $M_0 \times N_0$ 的二维图像 $I_{template}$ ，目的是在待匹配的三维图像中寻找一块与之匹配的图像块，从而实现待匹配三维图像与模板三维图像对齐；

然后计算所有 k 对应的二维图像与模板块 $I_{template}$ 的相似程度：

$$\max_{k \in [0, 2\pi/\beta_0)} J(k) = \text{corr}(I_{template}, I_{test}^k)$$

上式 corr 指计算两幅图像的相关性，取相关性最大值对应的 $k\beta_0$ 作为待匹配样本的旋转角度；

按此方法计算出母线的方向角以后，再按照公式 1 将待匹配的三维手指静脉图像展开成二维纹理图像，它与模板二维图像是对齐的。

10、一种基于权利要求 1 所述的方法的三维手指静脉识别系统，其特征在于，包括上、下位机两部分；下位机包括光源控制模块和图像采集模块，光源控制模块包括依次相连的微处理器、驱动电路和近红外光源，图像采集模块包括采集图像的摄像头；上位机为装有实现

手指静脉三维重建与识别的软件，上位机与光源控制模块的微处理器实现光源亮度控制信号的传递，与摄像头进行视频数据的传输；

下位机负责近红外光源强度的控制和图像信息的采集传输，上位机负责对采集到的数字图像进行处理、三维重建、特征提取与识别。

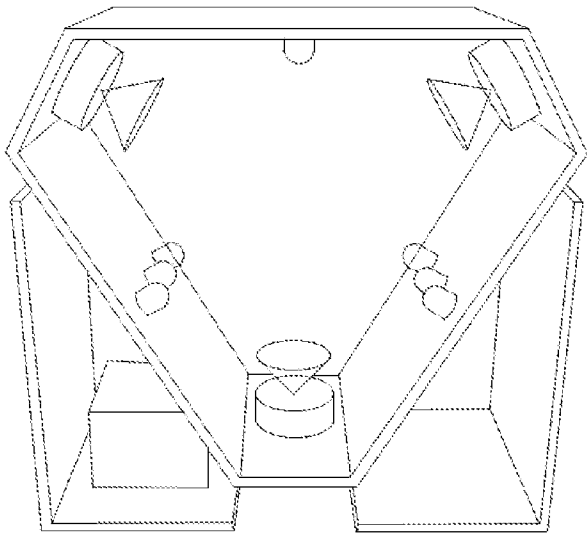


图 1

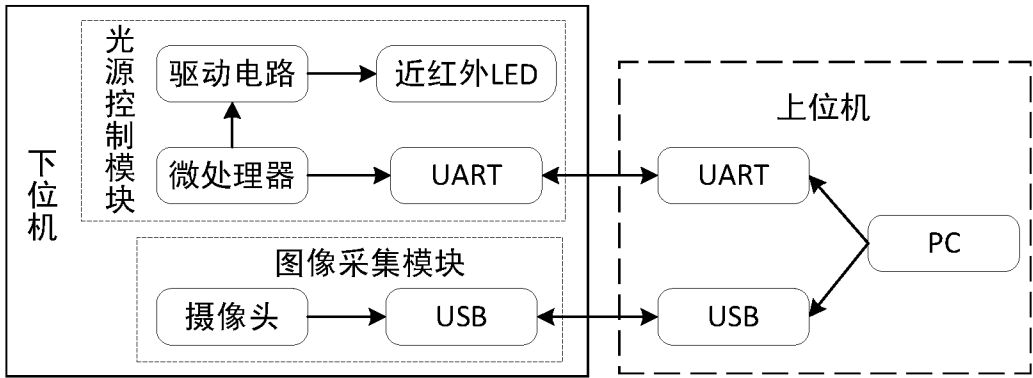


图 2

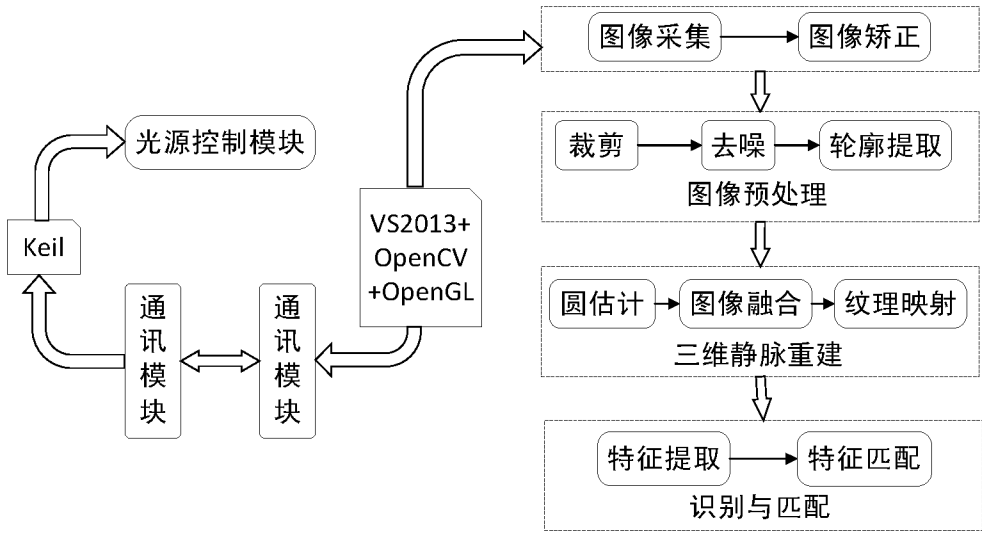


图 3

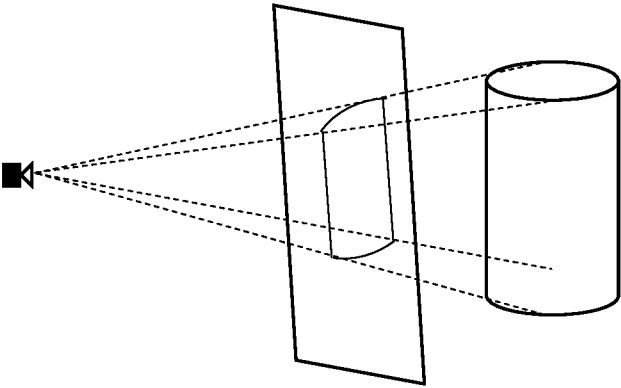


图 4

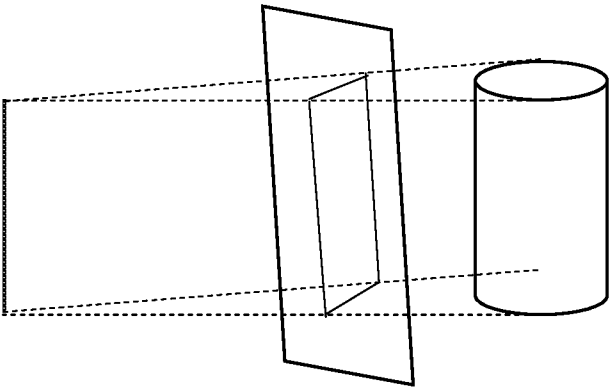


图 5

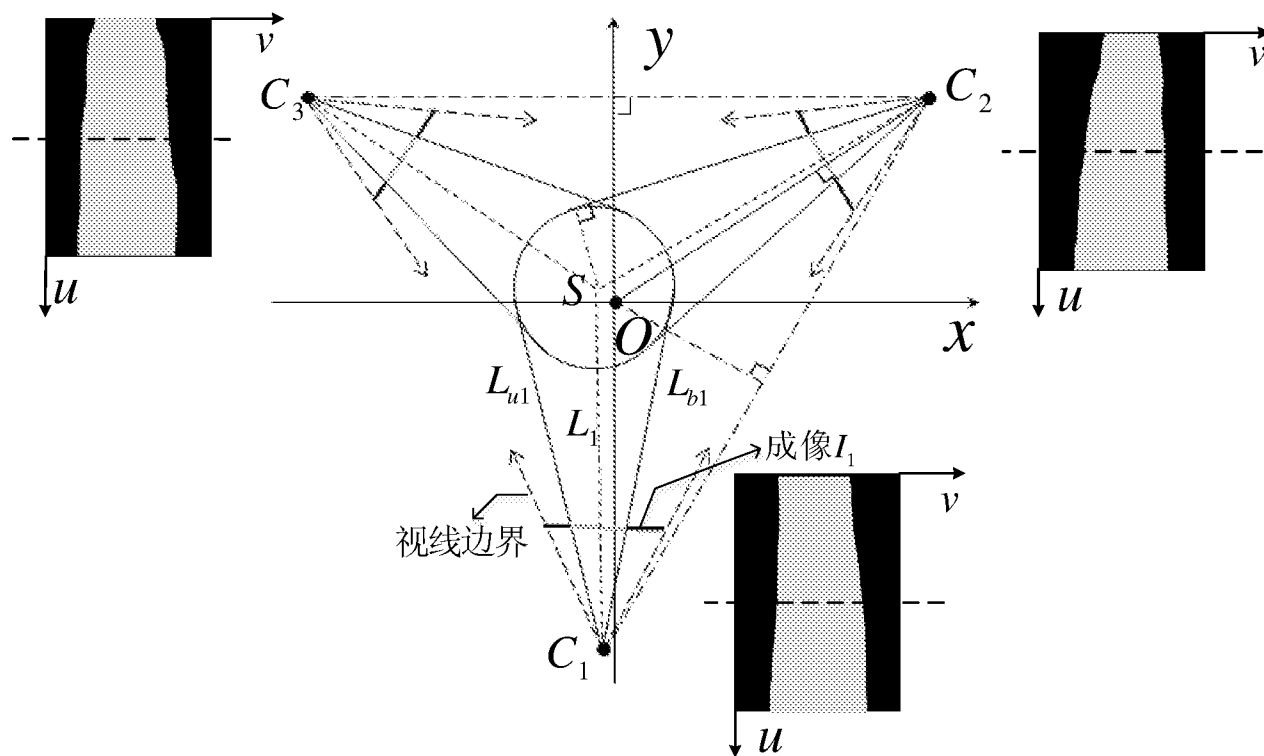


图 6

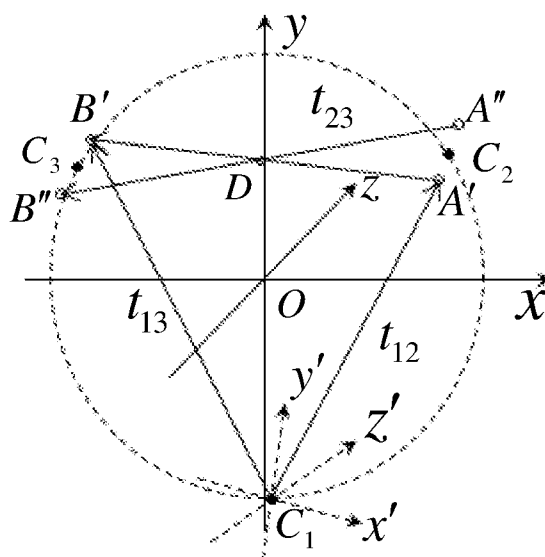


图 7

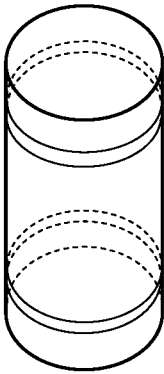


图 8

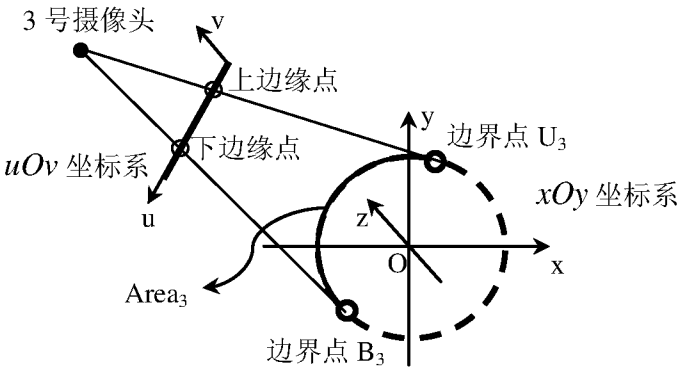


图 9

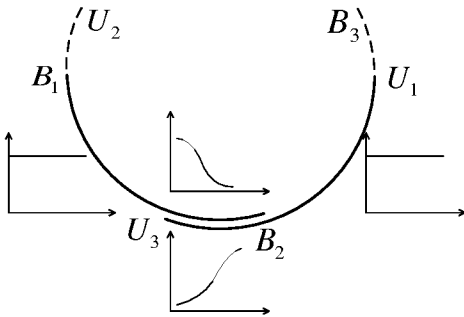


图 10

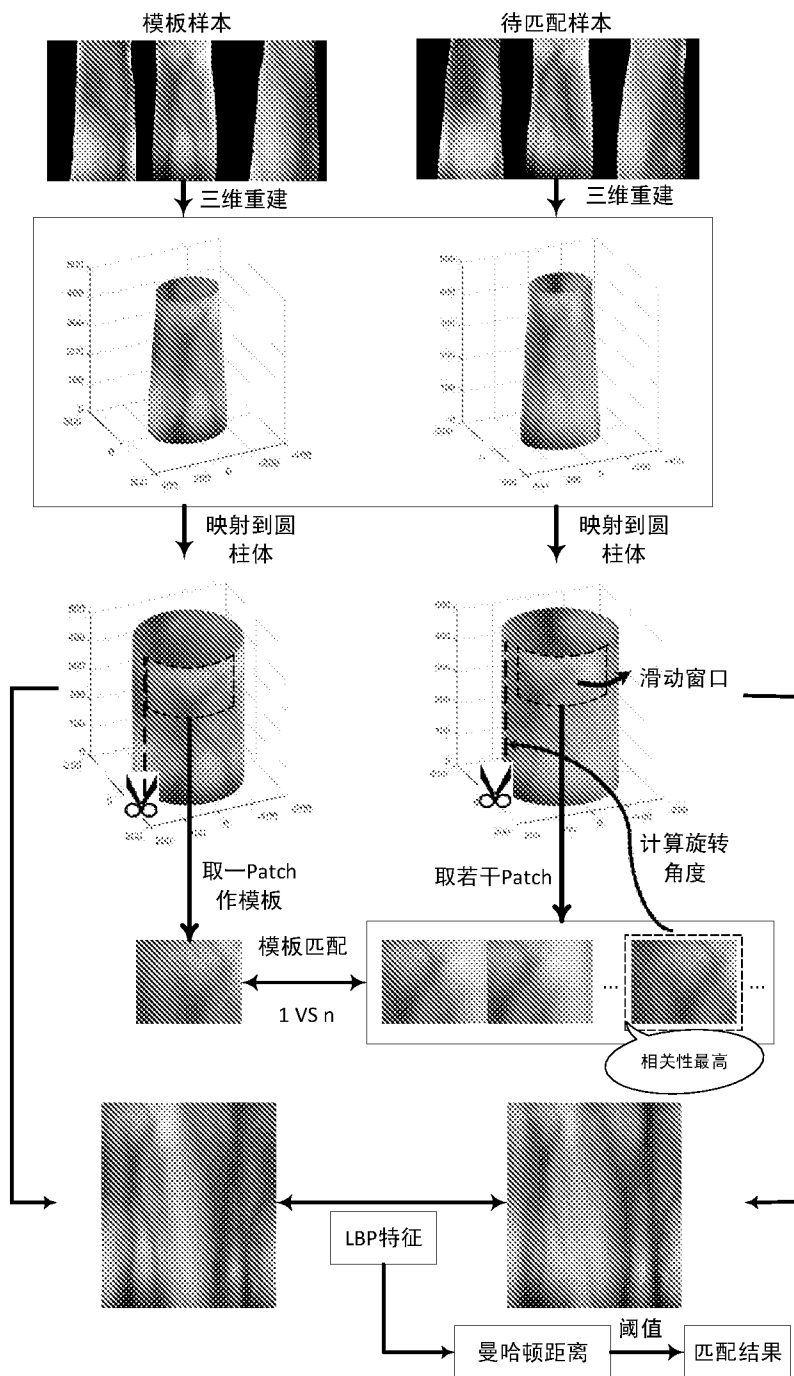


图 11

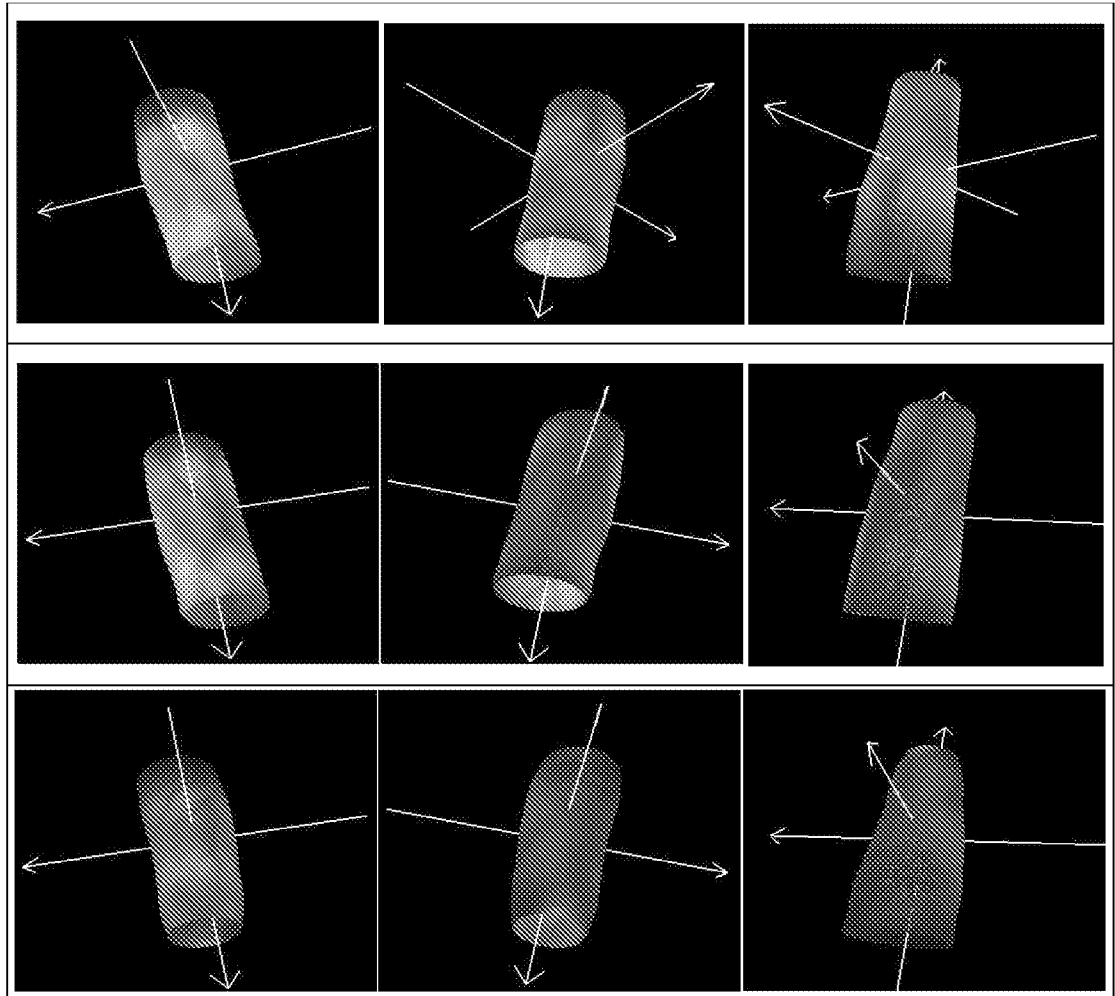


图 12

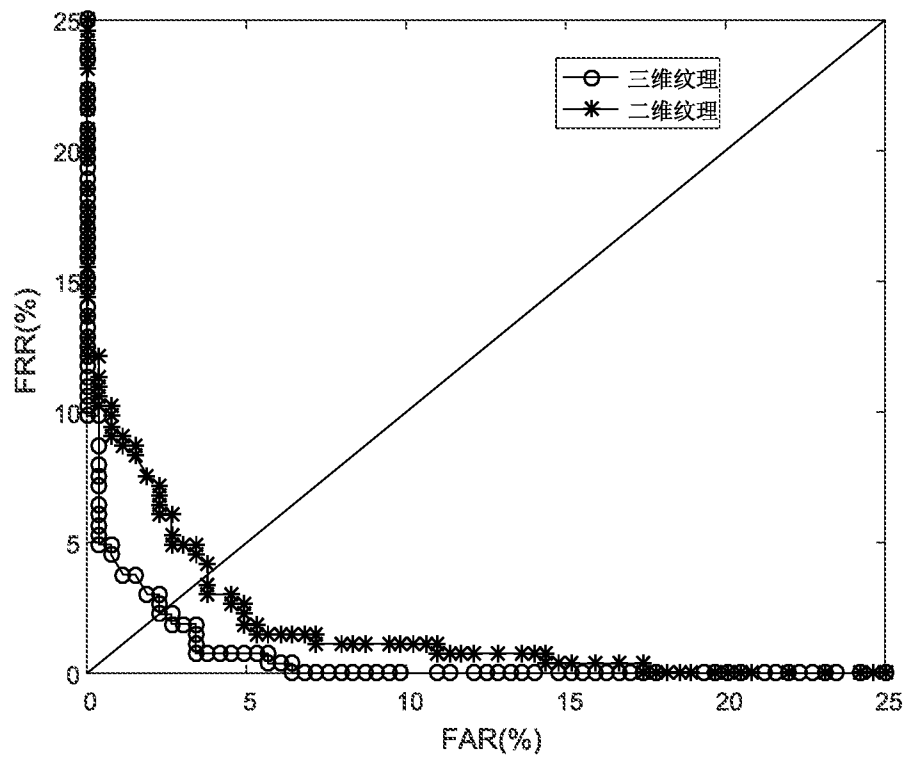


图 13

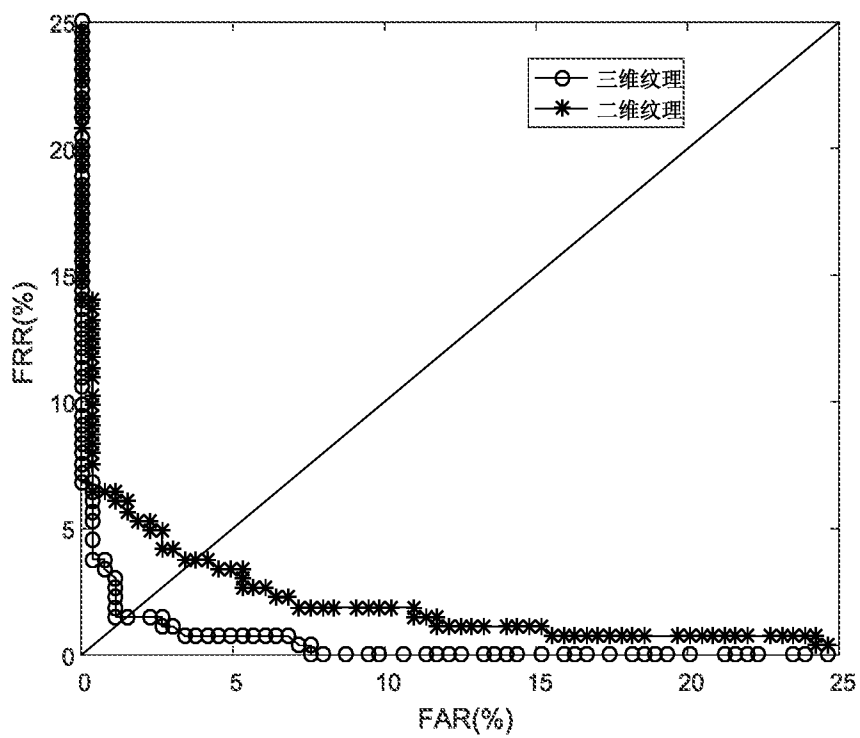


图 14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/113362

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06K 9/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC, IEEE: 静脉, 手指, 识别, 匹配, 三维, 模型, 建模, 重建, 三个, 摄像头, 多个, 圆, 剖面, 轮廓, 重叠; finger, 3D, three dimension, model, three, camera, circle, profile, overlap

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 106919941 A (SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY), 04 July 2017 (04.07.2017), claims 1-10	1-10
A	CN 101980243 A (NATIONAL UNIVERSITY OF DEFENSE TECHNOLOGY), 23 February 2011 (23.02.2011), description, paragraphs [0009]-[0049], and figures 1-4	1-10
A	CN 102609697 A (NATIONAL UNIVERSITY OF DEFENSE TECHNOLOGY), 25 July 2012 (25.07.2012), entire document	1-10
A	CN 104966082 A (XIE, Shanjuan), 07 October 2015 (07.10.2015), entire document	1-10
A	LIU, Tong et al. "A Liana Model for 3D Finger Vein Representation", Bioelectronics and Bioinformatics (ISBB), 2015 International Symposium, 03 December 2015 (03.12.2015), entire document	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 13 February 2018	Date of mailing of the international search report 26 February 2018
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer DONG, Hongmei Telephone No. (86-10) 53961528

International application No.
PCT/CN2017/113362

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2009)

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/113362

A. 主题的分类

G06K 9/00(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G06K

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC, IEEE: 静脉, 手指, 识别, 匹配, 三维, 模型, 建模, 重建, 三个, 摄像头, 多个, 圆, 剖面, 轮廓, 重叠; finger, 3D, three dimension, model, three, camera, circle, profile, overlap

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 106919941 A (华南理工大学) 2017年 7月 4日 (2017 - 07 - 04) 权利要求1-10	1-10
A	CN 101980243 A (中国人民解放军国防科学技术大学) 2011年 2月 23日 (2011 - 02 - 23) 说明书第[0009]-[0049]段、附图1-4	1-10
A	CN 102609697 A (中国人民解放军国防科学技术大学) 2012年 7月 25日 (2012 - 07 - 25) 全文	1-10
A	CN 104966082 A (解山娟) 2015年 10月 7日 (2015 - 10 - 07) 全文 全文	1-10
A	LIU, Tong et al. "A liana model for 3D finger vein representation" Bioelectronics and Bioinformatics (ISBB), 2015 International Symposium, 2015年 12月 3日 (2015 - 12 - 03), 全文	1-10

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2018年 2月 13日

国际检索报告邮寄日期

2018年 2月 26日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN)
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

受权官员

董洪梅

电话号码 (86-10)53961528

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/113362

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	106919941	A	2017年 7月 4日	无			
CN	101980243	A	2011年 2月 23日	CN	101980243	B	2012年 11月 7日
CN	102609697	A	2012年 7月 25日	CN	102609697	B	2013年 4月 17日
CN	104966082	A	2015年 10月 7日	无			