

基于双目视觉和旋转云台的远距离虹膜识别系统

董文博, 孙哲南, 谭铁牛

中国科学院自动化研究所; 模式识别国家重点实验室, 北京 100190

摘要 虹膜识别技术是一种新兴的生物特征识别技术, 相对于指纹识别和人脸识别具有更高的准确率和稳定性, 影响虹膜识别的瓶颈问题在于虹膜图像获取不太方便。当前该领域的热点就是研发一种可以在远距离、全自动地拍摄虹膜图像的设备, 以解决虹膜识别的易用性问题。设计了一种基于双目视觉和旋转云台的远距离虹膜识别系统, 该系统首先对摄像机进行标定, 对双目摄像机中的人脸图像进行配准, 从而估计人脸在空间中的大致位置; 然后, 系统利用旋转云台将虹膜摄像机自动对准人的眼睛并进行自动对焦, 在捕获到清晰地虹膜图像后进行虹膜识别。实验证明, 本文的立体视觉方法可以比较准确地定位物体空间位置, 系统自动获取的虹膜图像质量好, 识别率高。这种系统有望能够在未来的虹膜识别领域得以大规模应用。

关键词 生物特征识别; 虹膜识别; 立体视觉; 摄像机定标; 旋转云台; 虹膜图像获取

中图分类号 TQ050.4+25

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)05-0034-06

Iris Recognition System at a Distance Based on Stereo Vision and Pan-tilt-zoom Camera

DONG Wenbo, SUN Zhenan, TAN Tieniu

Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences; National Laboratory of Pattern Recognition, Beijing, 100190, China

Abstract Iris recognition is an emerging biometrics technology. It is more accurate and robust than fingerprint recognition and face recognition, but with a bottleneck of the inconvenience in iris image acquisition. Many recent studies focus on the automatic iris recognition at a distance to make the operation more convenient. In this study, an iris recognition system is designed at a distance based on a stereo vision and a pan-tilt unit. The stereo vision system is pre-calibrated. After the human face detection, the system makes a face image registration between two stereo-vision cameras and uses the corresponding relationship to estimate the accurate spatial position of human eyes. The pan-tilt unit moves an iris camera towards the eye position, and with the auto-focusing function, the iris camera acquires high-quality iris images for the iris recognition. Experiments show that the stereo vision is accurate enough to estimate the spatial position and the acquired iris images are clear enough for a high performance of the iris recognition. The iris recognition system has a potential large-scale application in the future.

Keywords biometrics, iris recognition, iris image acquisition, stereo vision, camera calibration, pan-tilt unit

0 引言

虹膜识别技术是一种新颖的生物特征识别技术。虹膜是指瞳孔和角膜间的环状区域, 此区域在近红外光下会呈现出丰富的纹理, 如图 1 所示。虹膜识别就是利用这些纹理的唯

一性来进行人的身份识别。1993 年, 剑桥大学的 Daugman 博士首次提出了虹膜识别的具体实现方法, 其算法包括虹膜图像预处理、瞳孔和虹膜定位、图像归一化、特征提取和比对等几个主要步骤^[1]。

收稿日期: 2009-11-14

基金项目: 《科技导报》博士创新研究资助计划项目(kjdb20090102-5)

作者简介: 董文博, 博士研究生, 研究方向为计算机视觉和模式识别, 电子信箱: wbdong@nlpr.ia.ac.cn; 谭铁牛(通信作者), 研究员, 研究方向为计算机视觉和模式识别, 电子信箱: tnt@nlpr.ia.ac.cn

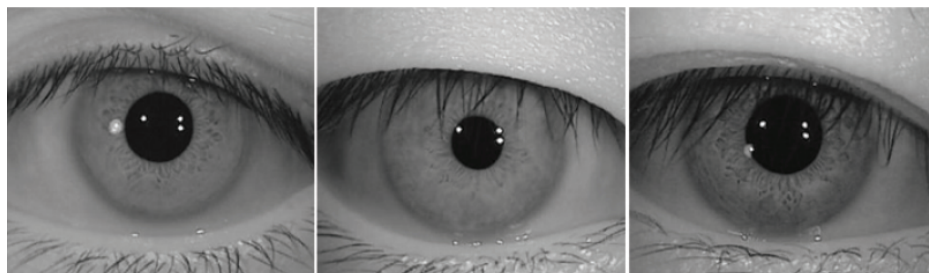


图 1 虹膜图像

Fig. 1 Example of iris images

十多年以来,国内外虹膜识别算法迅速发展并日趋成熟,产生了很有价值的研究成果^[1-3]。相对人脸识别、指纹识别,虹膜识别具有唯一性好、准确率高、易于图像处理等许多优良特性,目前的虹膜识别算法可以保证在图像质量较好的情况下,上千万次的虹膜比对,不会出现一次误识^[4]。这种可靠性和准确度是其他生物特征识别无法比拟的,在身份认证和公共安全方面具有很大的应用潜力。

然而,虹膜识别的最大瓶颈在于虹膜图像获取的困难。由于虹膜图像尺寸小而虹膜识别要求的分辨率高,即便使用最好的光学器材,虹膜摄像机最多只能拍摄到人脸大小的图像,成像景深不超过 10cm。因此,虹膜图像获取很不方便,必须要求用户积极配合才能完成;然而在 2~3m 或更远的距离,用户几乎不可能自己找到正确的位置。本研究的目的就是致力于远距离虹膜识别系统的开发。如果解决了远距离的虹膜识别问题,虹膜识别将会和人脸识别一样方便。

国外已经展开了相关研究。早在 2005 年,美国 Sarnoff 公司的 Craig 等^[5]就对远距离虹膜识别进行了探索,实验证明无论在 1m、3m 还是 10m,拍摄的虹膜图像对识别影响不大。其后 Sarnoff 公司研发了一种可以在 3m 远进行远距离虹膜识别的原型系统 Iris-on-the-move (IOM)^[6],他们利用高像素摄像机组成的阵列在远距离拍摄虹膜图像,当人走过一个固定位置时,系统就可以抓拍下他的虹膜图像并进行识别,这成为虹膜识别的一个里程碑性的工作。另外,还有许多研究单位也开发了基于旋转云台的远距离虹膜识别系统,例如日本三菱集团 Guo 等^[7]的工作、韩国 Yoon 等^[8]的工作和 Dong 等^[9]的工作,分别利用宽视角摄像机^[7,9]或者激光测距^[8]等方式估计人眼睛的空间位置,然后自动旋转云台将虹膜摄像机自动对准人的眼睛。一些公司已经研发出了远距离虹膜识别原型系统,如 Sarnoff 公司的 IOM 系统、AOptix 公司的 Insight 系统、Global Rainmaker 公司的 HBox 系统和本课题组研发的国内第一台远距离虹膜识别仪^[10]。但总起来讲,远距离虹膜识别研究还处于起步阶段。

本文提出了一种可以利用双目视觉和旋转云台的远距离虹膜图像自动获取方法。首先,安装 2 个宽视角摄像机,并标定出它们相对于固定点的内参数和外参数矩阵。在系统运行时,2 个宽视角摄像机拍摄物体并进行人脸检测,当检测到有人脸图像的时候,通过配准找出人脸位置在 2 个摄像机的

对应点。利用这个对应点和双目视觉理论,就可以估计出人脸在空间的具体位置。然后旋转云台将虹膜摄像机自动对准人的眼睛位置,并进行对焦,即可拍摄到清晰的虹膜图像。最后,利用虹膜摄像机拍摄的高分辨率虹膜图像,就可以从中进行虹膜定位和分割,进行虹膜识别。

实验证明,本文的标定方法具有较好的精度,利用双目视觉可以准确估计人眼位置的空间位置,设计的旋转云台快速稳定,最终获取的虹膜图像具有很好的质量,可以用于虹膜识别,识别率不亚于近距离虹膜识别仪器。

1 系统概貌和运行流程

视觉系统主要由以下装置构成:2 个 USB 摄像机 C_1 和 C_2 构成的双目视觉装置、可旋转云台、云台上放置的虹膜摄像机 C_w 等,如图 2 所示。除了视觉系统以外,远距离虹膜系统还有必需的机械机构、驱动装置、红外光源、显示器和图像处理计算机等。关于远距离虹膜识别系统的硬件装置和虹膜摄像机的选型,可以参考文献[10]。本文将利用双目视觉估计人的位置,提高原有系统的性能。

该系统的基本运行流程如图 3。首先,作为准备工作,需要对 2 个摄像机 C_1 和 C_2 进行标定,获得其内外参数。在系统运行时,通过 C_1 和 C_2 采集环境中的图像,并进行人脸检测;当其中任一摄像机检测到人脸时,在另一个摄像机的图像中对此人脸图像进行配准,最终可以得到人脸中心点 P_w 在 C_1 和 C_2 的坐标 (u_1, v_1) 和 (u_2, v_2) ;利用这两个坐标,结合摄像机的参数矩阵,可以计算出这个固定点在空间中的三维坐标 (x, y, z) ;然后旋转虹膜摄像机 C_w ,使其对准点 P_w ,并拍摄图像;对于虹膜摄像机拍摄的高分辨率虹膜图像,系统进行图像处理,对虹膜定位和分割,然后进行虹膜识别。

2 摄像机标定和双目视觉系统

2.1 摄像机标定原理

摄像机的参数矩阵 M 可以写成

$$M = K(RT) \quad (1)$$

其中 K 为摄像机的内参数, R 和 T 称为摄像机外参数,可以写成

$$K = \begin{bmatrix} \alpha & 0 & u_0 \\ 0 & \beta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, R = \begin{bmatrix} T_1^T \\ T_2^T \\ T_3^T \end{bmatrix}, T = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} \quad (2)$$

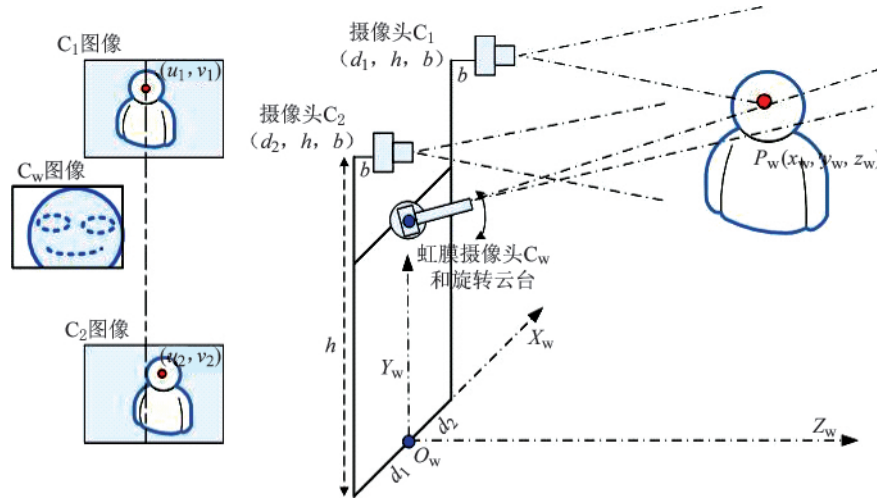


图2 视觉系统概貌

Fig. 2 General view of the vision system

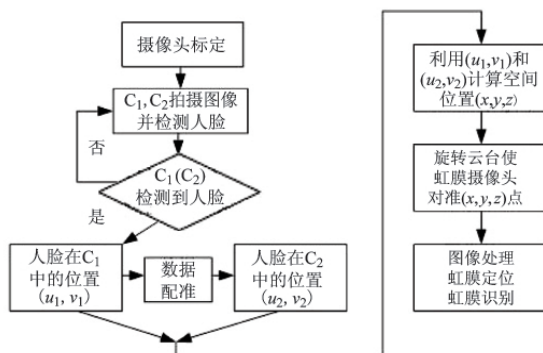


图3 系统运行的基本流程图

Fig. 3 Flowchart of the system

其中 α, β, u_0 和 v_0 为摄像机的固有参数, R 和 T 为摄像机相对于世界坐标系原点的旋转矩阵和偏置矩阵, 会根据坐标系的变化而变化。

如果已知空间中一点 $P=(x, y, z, 1)^T$ 在摄像机中的图像坐标 $p=(u, v, 1)^T$, 则从 p 到 P 的投影变换可以写作 $p=\frac{1}{z}MP$, 令 m_1^T, m_2^T 和 m_3^T 为 M 中的 3 行, 则有

$$\begin{cases} (m_1^T - um_3^T)P=0 \\ (m_2^T - vm_3^T)P=0 \end{cases} \quad (3)$$

如果现在得到 n 个点, 则可以利用最小二乘法解出这个方程的解 M 。然后根据 M 可以解出摄像机的内外参数 K, R 和 $T^{[11-12]}$ 。

2.2 摄像机标定实验

普通的摄像机标定采用标定块或标定面; 而本文研究的系统, 实际中主要针对仪器正面 3m 左右、大约 1m×1m 范围内的物体, 因此摄像机标定有特殊的针对性。以下是摄像机标定实验的做法。

1) 建立坐标系。如图 2 或图 4 所示, 以云台旋转轴的中心垂直于地面的位置为世界坐标系原点 O_w , 以平行于仪器表面的水平方向为 X 轴, 以垂直地面的方向为 Y 轴, 以仪器正

面垂直的方向为 Z 轴。这样, 2 个摄像机 C_1 和 C_2 的偏移矩阵可以大致写成 $T_1=[d_1, h, b]^T$ 和 $T_2=[d_2, h, b]^T$, 而 2 个摄像机 C_1 和 C_2 在安装时也基本上和水平面平行, 因此旋转矩阵 R_1 和 R_2 应该近似于单位矩阵。

2) 生成标定。在地面上的 $X-Z$ 坐标系上准确地画出 12 个点 (单位: m), 如 $(0, 1.2), (0.3, 1.2), (-0.3, 1.2), (0, 1.8), (0.3, 1.8), (-0.3, 1.8), (0, 2.4), (0.3, 2.4), (-0.3, 2.4), (0, 3), (0.3, 3), (-0.3, 3)$; 然后, 给一个直杆分别标上 1.3、1.4、1.5、1.6、1.7、1.8m 几个刻度, 并利用垂线锤保证其垂直度。通过把这个直杆放置在不同的点上, 就可以得到一个在 0.6m×0.5m×1.8m 的空间内的 70 多个标定, 如图 4 所示。这些点在 C_1 和 C_2 中的坐标可以利用手工给出。由于这些点的空间位置分布面广, 因此利用这些点可以保证标定矩阵的准确性和稳定性。

利用式 (5) 和以上标定数据, 得到如下标定结果: 摄像机 C_1 的内参数和外参数矩阵为

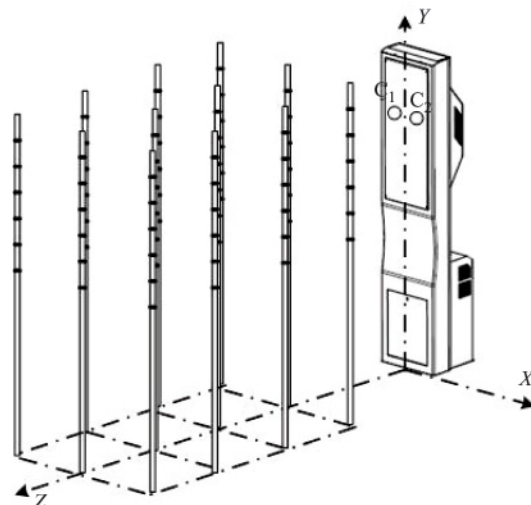


图4 坐标系和标定设计生成方法

Fig. 4 Generation of the coordinate system and calibration points

$$K_1 = \begin{pmatrix} 822 & 0.00 & 105 \\ 0.00 & 820 & 390 \\ 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{pmatrix} \quad R_1 = \begin{pmatrix} 0.999 & 0.029 & -0.047 \\ 0.012 & 0.995 & -0.098 \\ 0.050 & 0.097 & 0.994 \end{pmatrix}$$

$$T_1 = \begin{pmatrix} -0.15 \\ 1.53 \\ -0.075 \end{pmatrix}$$

摄像机 C_2 的内参数和外参数矩阵为

$$K_2 = \begin{pmatrix} 789 & 0.00 & 163 \\ 0.00 & 798 & 426 \\ 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{pmatrix} \quad R_2 = \begin{pmatrix} 0.999 & -0.007 & -0.038 \\ -0.003 & 0.997 & -0.073 \\ -0.038 & 0.073 & 0.997 \end{pmatrix}$$

$$T_2 = \begin{pmatrix} 0.04 \\ 1.53 \\ -0.068 \end{pmatrix}$$

经过实际测量, 摄像机 C_1 和 C_2 的高度大约为 1.53m, 2 个摄像机之间的距离约为 0.17m, 而后移量约为 0.08m; 对比标定数据, $h=1.53\text{m}$, $d_1+d_2=0.19\text{m}$, $b=-0.07\text{m}$ 。可见, 实测数据和标定数据相差不大。而从后面的实验来看, 这些误差对双目视觉系统的空间位置估计影响很小。

2.3 双目视觉原理

问题可以用如下方法来描述: 已知物体在摄像机 C_1 和 C_2 中的图像坐标分别为 (u_1, v_1) 和 (u_2, v_2) , 另外已知 2 个摄像机的参数矩阵 M_1 和 M_2 为

$$M_1 = \begin{pmatrix} m_{11}^{(1)} & m_{12}^{(1)} & m_{13}^{(1)} & m_{14}^{(1)} \\ m_{21}^{(1)} & m_{22}^{(1)} & m_{23}^{(1)} & m_{24}^{(1)} \\ m_{31}^{(1)} & m_{32}^{(1)} & m_{33}^{(1)} & m_{34}^{(1)} \end{pmatrix}, \quad M_2 = \begin{pmatrix} m_{11}^{(2)} & m_{12}^{(2)} & m_{13}^{(2)} & m_{14}^{(2)} \\ m_{21}^{(2)} & m_{22}^{(2)} & m_{23}^{(2)} & m_{24}^{(2)} \\ m_{31}^{(2)} & m_{32}^{(2)} & m_{33}^{(2)} & m_{34}^{(2)} \end{pmatrix} \quad (4)$$

其中 M_1 和 M_2 定义如公式 (1), 求这个点的空间位置 (x, y, z) 。

令 $P=(x, y, z, 1)^T$, $p_1=(u_1, v_1, 1)^T$, $p_2=(u_2, v_2, 1)^T$, 由于 $p_1=\frac{1}{z}M_1P$,

$p_2=\frac{1}{z}M_2P$, 可以得到如下关系

$$\begin{pmatrix} m_{11}^{(1)}-m_{31}^{(1)}u_1 & m_{12}^{(1)}-m_{32}^{(1)}u_1 & m_{13}^{(1)}-m_{33}^{(1)}u_1 \\ m_{21}^{(1)}-m_{31}^{(1)}v_1 & m_{22}^{(1)}-m_{32}^{(1)}v_1 & m_{23}^{(1)}-m_{33}^{(1)}v_1 \\ m_{11}^{(2)}-m_{31}^{(2)}u_1 & m_{12}^{(2)}-m_{32}^{(2)}u_1 & m_{13}^{(2)}-m_{33}^{(2)}u_1 \\ m_{21}^{(2)}-m_{31}^{(2)}v_1 & m_{22}^{(2)}-m_{32}^{(2)}v_1 & m_{23}^{(2)}-m_{33}^{(2)}v_1 \end{pmatrix} \cdot P = \begin{pmatrix} m_{14}^{(1)}-m_{34}^{(1)}u_1 \\ m_{24}^{(1)}-m_{34}^{(1)}v_1 \\ m_{14}^{(2)}-m_{34}^{(2)}u_1 \\ m_{24}^{(2)}-m_{34}^{(2)}v_1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

简写为:

$$A \cdot P = B$$

利用最小二乘法可解得^[12]:

$$P = (A^T A)^{-1} A^T B \quad (6)$$

这就是立体视觉估计空间位置的原理。

2.4 双目视觉实验结果

在 2.2 节中, 获取了空间大约 70 个标定, 并且得出了在 C_1 和 C_2 中的坐标 (u_1, v_1) 和 (u_2, v_2) 。现在利用已经得到的摄像机参数矩阵 M_1 和 M_2 , 求出 (u_1, v_1) 和 (u_2, v_2) 所对应点的空间三维坐标 (x, y, z) 。

由于篇幅原因, 表 1 中给出了一部分实验数据。可以看到, 估测数据和实测数据的误差很小。根据统计, 对于 x 的估测数据的平均误差为 0.13cm, 最大误差为 1.5cm; 对于 y 的估

测数据的平均误差为 0.4cm, 最大误差为 0.6cm; 对于 z 的估测数据的平均误差为 0.22cm, 最大误差为 9cm。

虹膜摄像机采用的是 2352×1728 像素的一款工业摄像机, 在虹膜平均直径为 150 个像素的情况下, 可以拍摄大约 15cm×15cm 的范围, 所以 x 和 y 的数据误差基本上不影响虹膜图像的获取; 而系统的景深大约在 10cm 左右, 所以对于 z 的部分估测数据可能对自动对焦有所影响。但由于自动对焦装置可以在几个距离自主变动, 所以这个估测数据基本上也不会有太大的影响。

表 1 利用双目视觉估测的数据和实际数据对比 (部分)

Fig. 1 Comparison between the real data and the estimated data by computer vision (part)

u_1	v_1	u_2	v_2	实测数据/m			估测数据/m		
				x	y	z	x'	y'	z'
136	357	156	412	0	1.6	1.2	-0.002	1.598	1.192
137	292	156	349	0	1.5	1.2	-0.003	1.500	1.200
116	388	172	442	0	1.7	1.8	0.008	1.704	1.806
118	342	172	398	0	1.6	1.8	0.007	1.599	1.782
118	298	172	355	0	1.5	1.8	0.006	1.500	1.807
119	252	172	309	0	1.4	1.8	0.005	1.396	1.808
196	403	268	455	0.3	1.8	2.4	0.289	1.801	2.397
197	369	269	424	0.3	1.7	2.4	0.295	1.704	2.433
199	337	270	390	0.3	1.6	2.4	0.295	1.602	2.423
200	303	271	358	0.3	1.5	2.4	0.300	1.501	2.461
14	357	100	411	-0.3	1.7	3	0.290	1.400	2.404
16	329	101	387	-0.3	1.6	3	-0.293	1.788	2.912
16	301	101	359	-0.3	1.5	3	-0.296	1.697	2.932
17	275	101	334	-0.3	1.4	3	-0.289	1.600	2.913

3 旋转云台设计和控制

云台的外形如图 5 所示, 水平旋转台和垂直旋转台都采用步进电机带动丝杠传动, 自动对焦装置采用 1 个三爪卡环带动对焦环旋转, 卡环的转动则用步进电机带动皮带转动。3 个步进电机都通过驱动控制器带动。其中水平旋转和垂直旋转的电机精度为每步 $\sigma=6.25 \times 10^{-3}^\circ$, 自动对焦旋转为每步 $\sigma=12.5 \times 10^{-3}^\circ$ 。旋转速度最快可以达到 3000 步/s, 在系统中, 设置平均为 1000 步/s, 并在启动和停止时采用加速和减速。

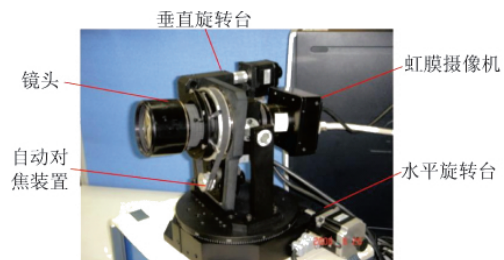


图 5 旋转云台和自动对焦模块的机械结构

Fig. 5 Mechanical structure of the pan-tilt unit and auto-focus module

利用双目视觉,已经得到了物体(人眼区域)的空间位置 (x, y, z) 。又已知虹膜摄像机的中心点在坐标系 Y 轴高度约1.35m左右的地方,因此令 $(x_0, y_0, z_0) = (0, 1.35, 0)\text{m}$ 。所以,可以计算出该点相对于云台的角度

$$\begin{cases} \theta_p = \frac{x-x_0}{z-z_0} \\ \theta_t = \frac{y-y_0}{z-z_0} \end{cases} \quad (7)$$

设云台的初始角度为 $\theta_{p_0}, \theta_{t_0}$, 而云台的步进电机步长为每步 $\sigma = 6.25 \times 10^{-3}^\circ$, 所以旋转步数为

$$\begin{cases} \text{step}_p = \frac{\theta_p - \theta_{p_0}}{\sigma} \\ \text{step}_t = \frac{\theta_t - \theta_{t_0}}{\sigma} \end{cases} \quad (8)$$

另外, 准确估计物体的空间位置有助于自动对焦的实现。首先, 物体到相机的距离可以计算为 $D = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$, 对焦时, 直接将对焦位置调到对应 D 的位置。其次, 为了避免对距离估计产生的偏差, 应让对焦在预定位置的前后3个档位往复移动, 这样即使 D 的估计有一定误差, 也可以保证有1个档位可以获得聚焦图像。

4 图像处理和虹膜识别

4.1 人脸检测和图像配准

物体检测和图像配准是立体视觉的前提。如果 (u_1, v_1) 和 (u_2, v_2) 所对应的点偏差较大, 将会对物体的空间位置估计造成很大影响。

在本系统中, 物体检测仅限于人脸检测和人眼检测, 而图像配准也只需要人脸图像的配准, 所以相对一般的立体视觉系统来讲, 比较容易实现。人脸检测在当前的计算机视觉中相对已较成熟, 利用 Adaboosting 训练的 Haar-like 特征构

成的级联分类器, 可以得到非常好的检测效果。本文采用已经训练好的人脸分类器进行人脸检测^[13]。

假设在 C_1 摄像机的实时序列中检测出了人脸, 下一步的工作是在 C_2 摄像机的同一时刻的图像中进行配准。从 C_1 摄像机中截取 $D \times D$ 个像素的人脸图像, 然后选取 C_2 摄像机中可能出现人脸的范围进行匹配。

按图6所示方法进行匹配: ① 对人脸图像在 X, Y 方向分别求灰度和, 得出 X 和 Y 两个方向上灰度匹配向量 F_x 和 F_y ; ② 在待匹配图像中选取可能出现人脸的区域, 在这个区域内进行匹配。③ 在感兴趣区域内设置与人脸图像相同大小的滑动窗口, 分别求取匹配向量, 并与 F_x 和 F_y 进行相关。在 X 和 Y 方向上同时得到最大相关值的一点即匹配点。

4.2 虹膜识别流程

采取高像素的虹膜摄像机获取虹膜图像, 这种高像素的虹膜图像将包括人脸部分的区域, 如图7所示。在这种图像中的虹膜识别必须首先进行眼睛检测, 之后再在人的眼睛区域进行虹膜定位和识别。整个流程图如图7所示。

在这里介绍部分细节: ① 人眼检测的方法也是基于 Adaboosting 训练的 Haar-like 特征级联分类器方法, 本文采用已经训练好的人眼分类器; ② 在检测到人眼之后, 采用对焦装置在3个位置不停变动, 获取实时虹膜图像; 系统通过对图像序列的分析, 取高频分量最多的一幅图像进行虹膜识别; ③ 虹膜识别算法大致按以下流程: 系统利用圆模型自动检测出瞳孔和虹膜的精确边界, 并把虹膜图像在极坐标上展开; 把虹膜图像用 Gabor 滤波之后, 提取定序特征, 并和数据库中的虹膜特征进行比对, 完成身份识别。其中本文采用的虹膜算法是已有算法, 其细节见参考文献[14]和[15]。

4.3 系统性能分析

1) 图像拍摄范围。利用云台, 远距离虹膜摄像机可以拍

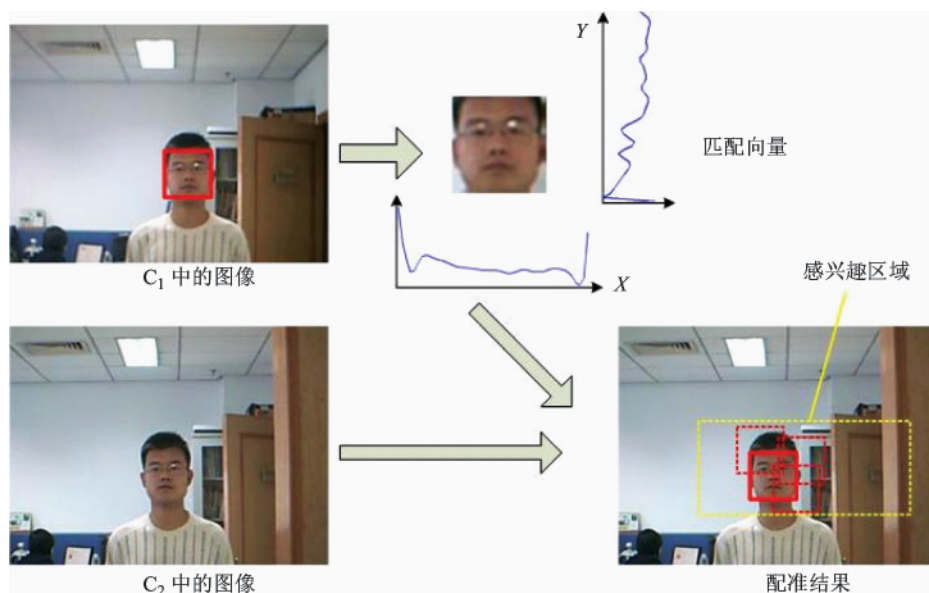


图6 图像配准方法

Fig. 6 Method of image registration

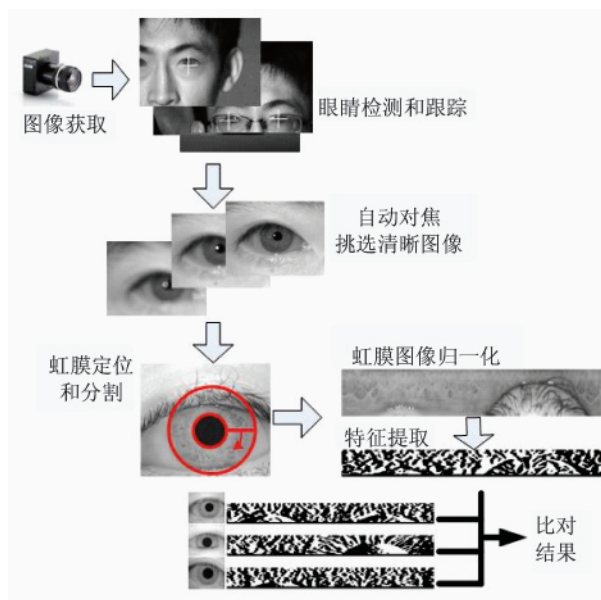


图 7 虹膜识别流程图

Fig. 7 Flowchart of iris recognition algorithm

摄到更大范围的图像。当不采用旋转云台时,摄像机在 3m 处的拍摄范围 $W \times H \times D$ 大约为 $15\text{cm} \times 15\text{cm} \times 10\text{cm}$ 左右;在采用了云台之后,拍摄范围可以扩展到 $90\text{cm} \times 90\text{cm} \times 30\text{cm}$,这个范围在拍摄范围上已经完全可以适应人在非配合状态下的虹膜识别。

2) 图像获取时间。云台的旋转速度设置为平均 1000 步/s, 2 个维度可以同时旋转, 因此在最坏的情况下, 也可以在 2s 内旋转到位, 实测平均大约需要 1s 左右。图像处理和识别的时间约几百毫秒, 而自动对焦只不过是几个档位切换, 每个档位停留的时间约 500ms。总计虹膜获取的时间不超过 3s。这个时间完全可以满足虹膜识别系统的要求, 不亚于当前国际上的其他近距离虹膜识别系统。

与利用单目视觉估计人脸位置的系统^[7-9]相比, 本系统估计空间位置更为准确, 因此云台旋转可以一次到位, 更加稳定; 而且由于可以估计物体深度信息, 自动对焦也更加迅速可靠。

3) 系统识别率。系统的识别率依赖于 2 个方面, 一个是获取的虹膜图像质量, 一个是虹膜识别算法。利用上述远距离虹膜识别仪器, 采集了大约 150 人的远距离虹膜数据, 并筛选出较好的图像, 组成了远距离虹膜数据库, 每人 10~20 幅图像不等。经过初步测试, 在误识别率 (FAR) 为 10^{-6} 的指标下, 本文的识别算法可以达到约 96% 的识别率; 在 FAR 为 10^{-5} 的指标下, 可以达到 98% 的识别率。说明本系统获取的图像质量和识别算法是足以满足虹膜识别需求的。

总之, 本研究设计的利用双目视觉和旋转云台的远距离虹膜识别系统具有很好的性能, 期望可在实际应用中发挥更大的作用。

5 结论

本研究设计了一种远距离虹膜识别系统。该系统利用双目视觉系统估计人脸的空间位置, 然后利用旋转云台调控虹膜摄像机的角度, 使之对准人的脸部区域, 并拍摄虹膜图像。实验证明, 利用双目视觉估计的位置准确可靠, 云台旋转和自动对焦都可以一次到位, 快速稳定。这种系统可以在远距离、大范围、人在非配合的状态下进行虹膜识别, 大大扩展了虹膜识别的应用范围。

参考文献 (References)

- [1] Daugman J. High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence [J]. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, 1993, 15(11): 1148-1161.
- [2] Wilds R P. Iris recognition: An emerging biometric technology [J]. *Proc IEEE*, 1997, 85(9): 1348-1363.
- [3] Ma Li, Tan Tieniu, Wang Yunhong, et al. Personal identification based on iris texture analysis [J]. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, 2004, 25(12): 1519-1533.
- [4] Daugman J. Probing the uniqueness and randomness of iriscodes: Results from 200 billion iris pair comparisons [J]. *Proc IEEE*, 2006, 94 (11): 1927-1935.
- [5] Fancourt C, Bogoni L, Hanna K, et al. Iris recognition at a distance[C]// Audio - and Video - Based Biometric Person Authentication. Berlin: Springer, 2005: 1-13.
- [6] Matey J R, Naroditsky O, Hanna K et al. Iris on the move: Acquisition of images for iris recognition in less constrained environments [J]. *Proc IEEE*, 2006, 94(11): 1936-1947.
- [7] Guo G, Jones M, Beardsley P. A system for automatic iris capturing mitsubishi electric research laboratories [EB/OL][2005-12]. <http://www.merl.com/publications/TR2005-044>, 2005: 1-10.
- [8] Yoon S, Jung H G, Suhr J K, et al. Non-intrusive iris image capturing system using light stripe projection and pan-tilt-zoom camera [C]//IEEE Conf of CVPR'07. 2007: 1-7.
- [9] Dong W B, Sun Z, Tan T. Self-adaptive iris image acquisition system[C]. *Proc of SPIE*. 2008, 944: 694406.
- [10] Dong W, Sun Z, Tan T. A design of iris recognition system at a distance [C]. *Proc of Chinese Conf on Pattern Recognition (CCPR'09)*. 2009, 2: 553-557.
- [11] Forsyth D, Ponce J. Computer vision: A modern approach [M]. New Jersey: Prentice Hall, 2002: 20-35
- [12] 马颂德, 张正友. 计算机视觉——计算理论与算法基础[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 52-75
Ma Songde, Zhang Zhengyou. Computer vision: Theory and algorithm-based computing[M]. Beijing: Science Press, 1998: 52-75.
- [13] Viola P, Jones M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features [C]. *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'01)*. 2001, 1: 511-518.
- [14] He Z, Tan T, Sun Z, et al. Towards accurate and fast iris segmentation for iris biometrics[J]. *IEEE Tran Pattern Anal Mach Intell*, 2009, 13(9): 1670-1684
- [15] Sun Z, Tan T. Ordinal measures for iris recognition [J]. *IEEE Tran Pattern Anal Mach Intell*, 2009, 31(12): 2211-2266.

(责任编辑 杨书卷)