

基于血流模型和贝叶斯的红外人脸识别

周翔¹, 方文俊¹, 罗斌^{1,2}, 汤进^{1,2}

(1. 安徽大学 计算机科学与技术学院, 安徽 合肥 230039;

2. 安徽省工业图像处理与分析重点实验室, 安徽 合肥 230039)

摘要:人脸识别是图像处理领域的一个热点。由于红外人脸识别可以避免可见光人脸识别存在的一些固有的缺陷,因此有着广阔的应用前景。文中从统计学角度和生物特征角度提出基于贝叶斯分类和血流模型的红外人脸识别方法,这种方法可以充分利用人脸血流模型的优势,减弱环境因素对红外人脸识别的性能的影响,提取精确的生物学特征,同时根据统计特征,并使用贝叶斯分类器,增加样本之间的类间距,减少样本之间的类内距。该方法将人脸温谱图转换为人脸血流图;使用PCA算法对人脸血流模型数据进行降维处理,并训练产生内部子空间 and 外部子空间;通过贝叶斯分类算法进行人脸识别。文中按照这个思路做了对比实验,实验结果证明这种方法是行之有效的。

关键词:红外人脸识别;血流图;贝叶斯分类;类间距;类内距

中图分类号:TP317.4

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)11-0026-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.11.007

Infrared Face Recognition Based on Blood Perfusion Model and Bayesian

ZHOU Xiang¹, FANG Wen-jun¹, LUO Bin^{1,2}, TANG Jin^{1,2}

(1. College of Computer Science and Technology, Anhui University, Hefei 230039, China;

2. Key Lab. of Industrial Image Processing & Analysis of Anhui Province, Hefei 230039, China)

Abstract: Face recognition is a hot research topic in the field of image processing. Infrared face recognition avoids some inherent defects of visible light face recognition, therefore has a broad application prospects. From biological characteristics and a statistical point, an infrared face recognition method based on face blood perfusion model and Bayesian classification is proposed in this paper, which takes full advantage of the blood perfusion model of the human face, weakens the impact of environmental factors on the performance of infrared face recognition and extracts the precise biological characteristics. At the same time, the method enlarges between-class distance and lessens within-class distance according to the statistical characteristics. Thermal images are converted into blood perfusion data; the PCA method is used to reduce the dimension of the face blood perfusion model data and generate the internal subspace and external subspace; the Bayesian classifier is used for face recognition. According to this idea, the comparative experiments are made in this paper, and this method is proved effective by the results of the experiments.

Key words: infrared face recognition; blood perfusion; Bayesian classification; between-class distance; within-class distance

0 引言

随着社会的发展,快速而准确的身份验证和识别系统越来越被人们所需要。人脸的描述和识别技术是计算机视觉、模式识别和生物识别技术的研究热点之一,其在高安全性部门的警戒、入口控制及计算机保密等领域有着广阔的应用前景^[1-3]。

人脸识别领域目前主要是针对可见光以及简单背

景情况下的人脸识别。在人脸识别中使用红外热像图是二十世纪末提出的一种方法,因为在当时可见光人脸识别暴露出许多缺陷,影响了人脸识别技术的应用和推广,比如对外界光线变化、人面部化妆等变化比较敏感,导致识别效果不是很稳定。而这些缺陷,在红外热像人脸识别中可以很大程度地避免^[4]。

由于红外图像是通过检测被测物体的温度而成

收稿日期:2013-01-12

修回日期:2013-04-18

网络出版时间:2013-07-24

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61073116,61272152)

作者简介:周翔(1988-),男,硕士研究生,研究方向为图像处理与模式识别;罗斌,教授,研究方向为图像处理与模式识别;汤进,副教授,研究方向为图像处理与模式识别。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130724.0945.007.html>

像,故又称温谱图。因为它完全不受外部光照的影响,不存在阴影,所以红外人脸识别系统一般均可实现全天候识别。和可见光人脸识别相比,红外人脸识别有如下优点:

1) 独立于光源,光照的变化对识别性能的影响很小,在光线不强的场所或者没有光线的夜间仍然可以进行拍摄识别;

2) 抗伪装的能力很强,因为整容或化妆后不能改变人脸面部的血管分布,所以不会改变人脸热辐射模式;

3) 不受肤色的影响;

4) 受人脸表情变化和姿态的影响小^[5-7]。

1 血流模型及其在识别中的应用

为了充分利用人脸的生物特征,减弱环境因素对红外人脸识别的干扰,提出了一种把人脸的温谱图转换为血流图的人脸血流模型。该模型把人脸表面的温度数据转换为人体的生物学数据,使其不易受外界环境温度的影响。以这种生物学数据作为样本,进行训练和进一步的识别^[8]。

这种人脸血流模型是基于以下的假设作为前提的:

- 1) 红外相机已校准,能够精确测量温度;
- 2) 周围环境温度比人体温度低;
- 3) 只考虑皮肤表面的热交换;
- 4) 将人体的内部体温认为是常数,并将人体的自动热调节忽略不考虑;
- 5) 不考虑非正常的生理和心理状态因素。

基于以上的假设作为前提,人体表面的热量平衡可体现为下面这个公式:

$$Q_r + Q_e + Q_f = Q_c + Q_m + Q_b \quad (1)$$

其中,左边三项的和表示从皮肤表面散发到外界环境的流出热流量,右边三项的和表示从外界环境到皮肤表面的流入热流量。根据这个等式,可得到下面的血流计算公式:

$$w = w_b r_b = \frac{\varepsilon \sigma (T_s^4 - T_e^4) + AK_f d^{3M-1} (\text{Prgh}/n^2)^M (T_s - T_e)^{M+1}}{ac_b (T_a - T_s)} - \frac{K_s (T_c - T_s)}{D} + H \quad (2)$$

公式(2)中涉及到许多物理学的变量,它们的含义分别为: T 表示红外温度(即温谱图上的温度值), T_s 表示皮肤温度, T_e 表示环境温度, T_a 表示动脉温度。它们的取值通常为如下的经验值: $c_b = 3.78 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, $T_a = T_e = 312.15 \text{ K}$, $k_s = 0.2 \text{ W} \cdot \text{M}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$,

$$k_f = 0.024 \text{ W} \cdot \text{M}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}, \sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{M}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}, \alpha = 0.8, v = 1.56 \times 10^{-5} \text{ M}^2 \cdot \text{S}^{-1}, A = 0.27, M = 0.25。$$

公式(2)不便计算,对公式(2)进行简化和近似^[9],得出简化模型如下:

$$w = \frac{\varepsilon \sigma (T^4 - T_e^4)}{\alpha c_b (T_a - T)} \quad (3)$$

从公式(3)的简化模型可以发现,经过转化的血流图保留了温谱图的特征,同时还反映了 $T_a - T$ 的特征。 $T_a - T$ 体现了与环境温度无关的人脸生物学生理特征,可见,血流图通过提取人脸的生物学特征,减弱了环境因素特别是环境温度的影响,减少了类内距。

对简化血流模型对 T 求导得到血流变化率:

$$\frac{dw}{dT} = 4 \frac{\varepsilon \sigma (4T^3 T_a - 3T^4 - T_e^4)}{\alpha c_b (T_a - T)^2} \quad (4)$$

$\frac{dw}{dT}$ 表示经过上述的血流模型转换后,温谱图数据

的变化对血流图数据变化的影响。由于属于不同类别的人脸图像对应点温度 T 的变化的差异很大,可作为区别不同类别的主要依据,这种差异对分类的主要贡献表现为类间距离。同时,为了归一化,定义 $WR = \frac{dw/dT}{w/T}$,并带入(3)、(4)式得:

$$WR = \frac{(4T^3 T_a - 3T^4 - T_e^4) T}{(T_a - T)^2 (T^4 - T_e^4)} \quad (5)$$

一般地, $T_a \approx T$, $T_a = 312.15 \text{ K}$, $T \geq 300 \text{ K}$, $WR \approx \frac{(4T^3 T - 3T^4 - T_e^4) T}{(T_a - T)^2 (T^4 - T_e^4)} = \frac{T}{(T_a - T)^2}$ 。可见, WR 随着温谱 T 的变化是单调递增的,并且 WR 大于 1。通过(5)式还可以看出,当 T 接近与 T_a 时, WR 与环境温度 T_e 是无关的。由此可见,不同人脸部的温谱变化对血流图的影响比较显著,从识别的角度来说,就是增加了类间距。

由此可见,血流模型的引入在红外人脸识别中可以起到减小类内差异(类内距)、增大类间差异(类间距)的作用。这样对识别率的提高是很有帮助的。

2 贝叶斯人脸识别算法相关理论

目前常用的人脸识别算法主要包括神经网络方法、SVM 人脸识别方法和统计学方法等,基于子空间的方法是基于统计学方法的人脸识别中识别效率最好的方法之一。基于子空间的统计学的人脸识别方法包括 PCA 方法、贝叶斯方法等,而贝叶斯方法是识别率较高的一种方法^[10]。

Moghaddam 等在 1997 年提出了贝叶斯人脸识别方法。他们建立了一个完整的人脸识别的统计学的模型。由于人脸识别领域所面临的通常是多个人员的多

幅人脸图像之间的分类和识别,这些都属于多类小样本问题,这就决定了直接用人脸图像作为模式,并直接进行贝叶斯分类的做法很复杂,且难以实现。他们提出利用两幅图像的差 $\Delta = I_1 - I_2$ 作为模式矢量,若 I_1 和 I_2 属于同一人员则称之为类内模式 Ω_i ;若 I_1 和 I_2 属于不同的人员则称之为类间模式 Ω_e 。这是一种基于统计学概率的相似性度量方法,这种方法将两个人脸图像之间的距离分为类间距(不同分类的人员之间图像的差异)和类内距(类内人员的不同图像之间的差距)。这样就把人脸识别的多类模式问题转化为两类模式 Ω_i 和 Ω_e 的分类问题。Moghaddam 等人同时提出了一种快速的线性计算方法。这种计算方法在美国 DAPAR 组织的 FERET 人脸识别效果测试中被证实是识别效果最好的方法之一^[11]。

贝叶斯人脸分类及人脸识别方法定义如下^[10]:

定义 1(类内差异 Ω_i):同一人员的不同图像之间的差异(例如不同时刻、不同表情所拍摄的图像之间的差异等);

定义 2(类间差异 Ω_e):不同的人员所拍摄的人脸图像之间的差异(比如张三的图像和李四的图像之间的差异)。

贝叶斯算法规定两幅图像的相似度 $S(I_1, I_2)$ 的计算过程如下:

1)对于两个已知的人脸图像 I_1, I_2 ,首先求出他们的差异 Δ ;

2)定义 $S(I_1, I_2) = S(\Delta) = P(\Omega_i | \Delta)$,计算 Δ_i 属于类内差异 Ω_i 和类间差异 Ω_e 的概率哪一个比较大。

上文提到,贝叶斯方法将多类的人脸识别问题变成了二类的识别,它通过对求得的人脸图像的差异 Δ 进行分类,以确定是类内差异 Ω_i 还是类间差异 Ω_e 。最终得出识别结果。

统计模式识别理论中提到最大后验概率准则,这个准则也是实现分类的最佳准则。

$$S(\Delta) = P(\Omega_i | \Delta) =$$

$$\frac{P(\Delta | \Omega_i)P(\Omega_i)}{P(\Delta | \Omega_i)P(\Omega_i) + P(\Delta | \Omega_e)P(\Omega_e)} \quad (6)$$

得出 $S(\Delta)$ 以后,接下来的任务是要判定待识别的图像 I_1 与某一已知图像 I_2 是否属于同一个人,如果 $S(\Delta) > \frac{1}{2}$,则认为它们属于同一个人,这样就得出这个未知图片属于哪个人。为简化起见,也可直接采用公式(7)作为匹配得分。

$$S' = P(\Delta | \Omega_i) \quad (7)$$

一系列实验结果显示,很多时候,(6)、(7)式在识别率方面差别很小,但(7)式在运算速度上却比(6)式快很多。

$P(\Delta | \Omega_i)$ 和 $P(\Delta | \Omega_e)$ 可由以下公式算得:

$$P(\Delta | \Omega_i) = \frac{\exp(-\frac{1}{2}\Delta^T \sum_i^{-1} \Delta)}{(2\pi)^{\frac{D}{2}} \left| \sum_i \right|^{\frac{1}{2}}} \quad (8)$$

$$P(\Delta | \Omega_e) = \frac{\exp(-\frac{1}{2}\Delta^T \sum_e^{-1} \Delta)}{(2\pi)^{\frac{D}{2}} \left| \sum_e \right|^{\frac{1}{2}}} \quad (9)$$

其中, \sum_i 和 \sum_e 分别为 Δ_i 和 Δ_e 的协方差矩阵,将(8)和(9)带入公式(6)中即可计算得到后验概率。

3 基于血流模型和贝叶斯方法的人脸识别

由于血流模型从人脸的生物学特征角度增加了人脸图像样本的类内差异,减少了样本的类间差异,为了充分利用血流模型的这种特性,文中提出基于血流模型和贝叶斯方法的人脸识别方法。该方法采用能够最大化类间距和类内距的比值的贝叶斯方法,增大人脸血流图的样本间的辨别能力,可达到更好的识别效果。

在训练阶段,首先使用温度数据到血流模型的转换公式,把人脸的红外温谱图转换为血流图,通过这一转换,可以增加样本之间的类间距,同时减小样本分类内部的类内距。由于贝叶斯算法中所涉及到的计算复杂度相当高,为了提高识别的速度,又不能使识别率变得过于低,要先将人脸血流图进行降维后再进行贝叶斯训练。这里,降维采用的是经典的 PCA 方法,这样可得到人脸的主要特征。具体做法是:通过训练样本数据,产生图像外部差值向量集和内部差值向量集,然后对这两个向量集都进行 K-L 变换,可得出在类间子空间与类内子空间中的新基。训练过程如图 1 所示。

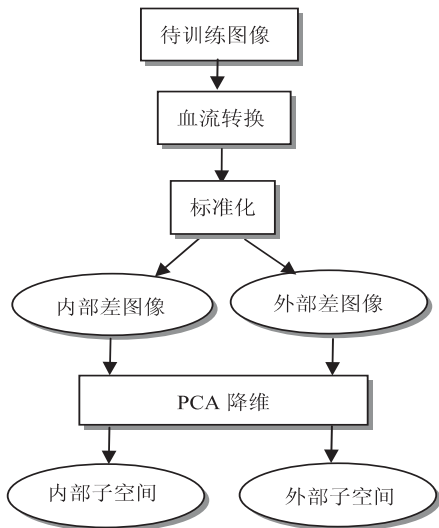


图 1 基于血流模型和贝叶斯算法的人脸红外图像训练过程

在识别阶段,将待测试的红外热像图 and 所有类别

已经明确的数据库中的红外图像的差向量分别做投影操作,得到类内子空间和类间子空间,再分别利用马氏距离求得最小值,最后再利用 ML 或 MAP 确定待测试图像的分类。

识别过程如图 2 所示。

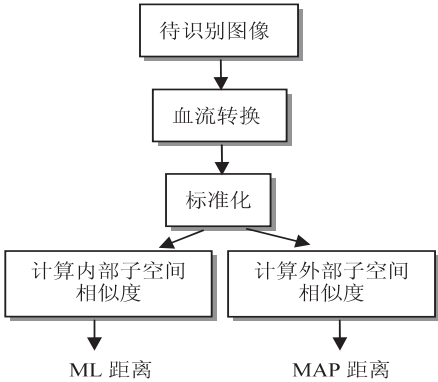


图 2 基于血流模型和贝叶斯算法的人脸红外图像识别过程

4 实验

实验中所采用的设备是 FLIR 红外热像仪,能够准确测出被测对象的表面温度,像素分辨率是 640 * 480。

实验中所用的红外人脸图像数据库中包含 40 个人员,每个人 20 张照片,共有在同一时间段、同一环境下采集的 800 张照片。环境温度在 20 摄氏度左右,每个人都坐在热像仪前 1 米的位置。所拍摄的图片原始尺寸为 640 * 480,经过预处理和归一化以后的图像尺寸为 130 * 150。

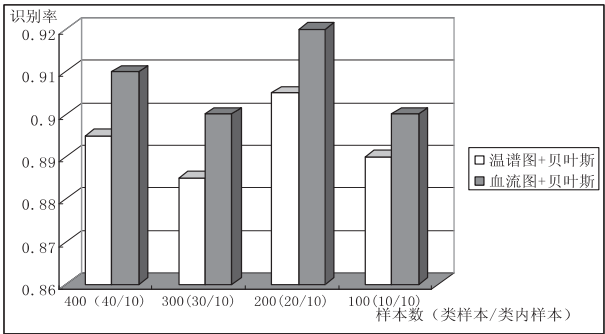
对每个人采用前 10 幅图像用做训练,后 10 幅图像用做测试,设计了两组实验。第一组实验采用的分别是基于温谱图与贝叶斯分类器的人脸识别算法及基于血流图与贝叶斯分类器的人脸识别算法,第二组实验采用的分别是基于血流图与欧式距离分类器的人脸识别算法及基于血流图与贝叶斯分类器的人脸识别算法。

实验结果见图 3。

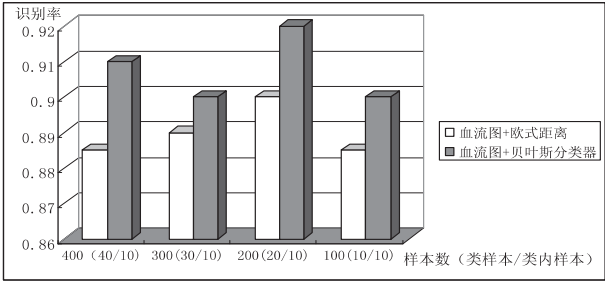
从第一组实验的结果可以得出人脸血流模型和人脸温谱图与识别正确率的关系。由实验结果可得,通过应用血流模型及温谱图到血流图的变换,确实使类间距有所增加,类内距有所降低,并使得最终的识别率也有一定的提高。

从第二组实验的结果可以看出,贝叶斯分类器在红外人脸识别中的识别率要比欧式距离判别更高,识别效果更好。

结合这两组实验的结果,可以证明,使用基于血流图和贝叶斯分类的红外人脸识别方法是行之有效的。



(a) 第一组实验的实验结果



(b) 第二组实验的实验结果

图 3 实验结果

5 结束语

文中从统计学角度和生物特征角度提出基于贝叶斯分类和血流模型的红外人脸识别方法,这种方法可以充分利用人脸血流模型的优势,减弱环境因素对红外人脸识别的性能的影响,提取精确的生物学特征,同时根据统计特征,并使用贝叶斯分类器,增加样本之间的类间距,减少样本之间的类内距。通过实验证明该方法是可行的。

参考文献:

[1] 张 婷,朱秋煜,朱军林. 人脸识别考勤系统中有效人脸特征提取[J]. 上海大学学报(自然科学版),2006,12(3): 244-248.

[2] 郎利影,魏 娜. 嵌入式人脸识别考勤系统设计与实现[J]. 煤矿安全,2012,43(4):68-70.

[3] 陈 彪,吴成东,郑军刚. 智能建筑中人脸识别与报警的应用[J]. 低压电器,2009(2):22-26.

[4] Prokoski F J. Method and Apparatus for Recognizing and Classifying Individuals Based on Minutiae [P]. US: 6173068B1,2001.

[5] Kong S G,Heo J,Abidi B R,et al. Recent advances in visual and infrared face recognition—a review[J]. Computer Vision and Image Understanding,2005,97(1):103-135.

[6] Prokoski F,Riedel B,Coffin J S. Identification of individuals by means of facial thermography [C]//Proc of IEEE Int Conf on Security Technology, Crime Countermeasures. [s. l.]:[s. n.],1992:120-125.

2) 只有跟随者遇到障碍时:如 3.1 设置 $d = 0.4, l^d = 2$, 初始位置 $x^r = 0.1, y^r = 0.1, e^0 = 90^\circ$, 跟随者必须跟随领导者沿着直线以恒定线速度 0.5 m/s 和相对角为 90° 运动。当跟随者遇到障碍时,如 2.2 所示的方法避障,避开障碍以后再恢复到所需的队形,仿真如图 5 所示。

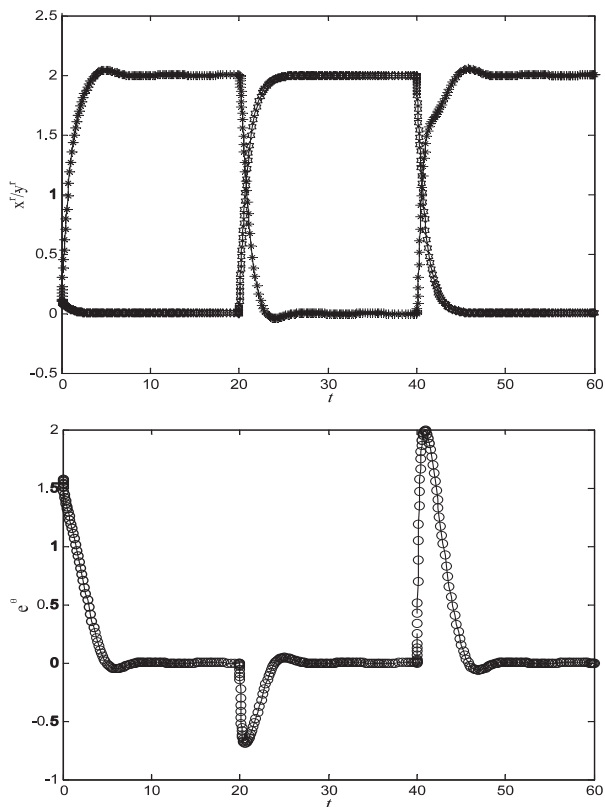


图 5 跟随者变换队形避障

4 结束语

文中介绍了多机器人系统在未知环境下的编队^[11]和避障^[12]问题。利用 leader-following 法和人工势场相结合的方法,可以使机器人在保持队形的情况下完成避障。之前的研究中 leader-following 算法只用来进行编队,文中提出了利用此方法完成跟随者的避障功能。实现了跟随者在遇到障碍物的情况下改变队

形自动避障,在避障后恢复队形,最终到达目标。在今后的研究中,需要进一步考虑更复杂的环境与各种类型的障碍,还需要提出新的方法来优化多个机器人的编队控制来提高自主和自适应功能。

参考文献:

- [1] 肖南峰. 智能机器人[M]. 广州:华南理工大学出版社, 2008.
- [2] Ren D H, Lu G Z. Consideration on formation control[J]. Control and decision making, 2005, 20(6): 601-606.
- [3] Anthony L M, Tan K H. High precision formation control of mobile robots using virtual structures autonomous[J]. Autonomous robots, 1997, 4(4): 260-266.
- [4] Wang P K C. Navigation strategies for multiple autonomous mobile robots moving in formation[J]. Journal of robotic systems, 1991, 8(2): 177-195.
- [5] Khatib O. Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robot[J]. International journal of robotics research, 1986, 5(1): 90-98.
- [6] Yin Lu, Yin Yixin. Simulation research on path planning based on dynamic artificial potential field[J]. Journal of system simulation, 2009, 5(1): 3325-3329.
- [7] Arai T, Pagello E, Editorial L E. Advances in multi-robot systems[J]. IEEE transactions on robotics and automation, 2002, 18(5): 655-661.
- [8] 曹其新, 张 蕾. 轮式自主移动机器人[M]. 上海:上海交通大学出版社, 2012.
- [9] Dierks T, Jagannathan S. Neural network control of mobile robot formations using rise feedback[J]. IEEE trans on syst man cybern, part B, 2009, 39(2): 332-347.
- [10] 李 星, 李龙澍. 仿真家庭服务机器人行动序列规划研究[J]. 计算机技术与发展, 2012, 22(10): 62-65.
- [11] Chen Libin, You Bo. Robot's dynamic tracking and obstacle-avoiding based on evolutionary artificial potential field[J]. Control theory and applications, 2007, 26(4): 8-10.
- [12] Pourboghra F, Karlsson M P. Adaptive control of dynamic mobile robots with nonholonomic constraints[J]. Computers and electrical engineering, 2002, 28(4): 241-253.

(上接第 29 页)

- [7] Yoshitomi Y, Miyaura T, Tomita S, et al. Face identification using thermal image processing[C]//Proc of 6th IEEE Int Conf on Robot and Human Communication. [s. l.]: [s. n.], 1997: 374-379.
- [8] Seal A, Nasipuri M, Bhattacharjee D, et al. Minutiae based thermal face recognition using blood perfusion data[C]//Proc of 2011 International Conference on Image Information Processing. [s. l.]: [s. n.], 2011: 1-4.
- [9] Wu Shiqian, Song W, Jiang Lijun, et al. Infrared face recogni-

tion by using blood perfusion data[C]//Proc of Audio-and Video-Based Biometric Person Authentication. [s. l.]: [s. n.], 2005: 320-328.

- [10] 朱学毅, 王崇骏, 周新民, 等. 一种改进的贝叶斯人脸识别算法[J]. 计算机科学, 2006, 33(9): 204-206.
- [11] Moghaddam B, Pentland A. Probabilistic visual learning for object representation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(7): 696-710.

基于血流模型和贝叶斯的红外人脸识别

作者：
作者单位：

周翔, 方文俊, 罗斌, 汤进, ZHOU Xiang, FANG Wen-jun, LUO Bin, TANG Jin
周翔, 方文俊, ZHOU Xiang, FANG Wen-jun(安徽大学 计算机科学与技术学院, 安徽 合肥
, 230039), 罗斌, 汤进, LUO Bin, TANG Jin(安徽大学 计算机科学与技术学院, 安徽 合肥
230039; 安徽省工业图像处理与分析重点实验室, 安徽 合肥 230039)

刊名：

计算机技术与发展

英文刊名：

ISTIC

Computer Technology and Development

年, 卷(期)：

2013(11)

本文链接：

http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201311008.aspx