

红外图像人脸识别方法*

李江¹, 郝文贤², 匡刚要², 宋海娜²

(1. 国防科技大学 信息系统与管理学院 湖南 长沙 410073 ;

2. 国防科技大学 电子科学与工程学院 湖南 长沙 410073)

摘要 红外成像具有抗干扰性强、独立于可见光源、防伪装、防欺诈等优点,这使得红外图像人脸识别可在很大程度上弥补可见光人脸识别技术的缺陷和不足,是今后人脸识别研究的一个重要方向。在深入分析红外人脸图像特性的基础上,研究了红外图像人脸识别的特点,并提出了一种新的红外图像统计人脸识别方法。实验结果表明,这种识别方法不论从理论上还是从实验上都是可行的,具有良好的识别能力。

关键词 红外图像;人脸识别;统计分析;线性判别分析

中图分类号 TP391 **文献标识码** A

Research on Face Recognition Approaches of Infrared Image

LI Jiang¹, YU Wen-xian², KUAN Gang-yao², SONG Hai-na²

(1. College of Information System and Management, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China ;

2. College of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract Infrared image has a lot of advantages, such as strong anti-interference, independence to visible light source, defence from camouflage and defence against cheat. These advantages help infrared image face recognition to a large extent to make up for the shortage of visible image face recognition. Now infrared image face recognition is an important direction in the field of face recognition. Based on the analysis of characteristics of infrared image, the properties of infrared image face recognition were analyzed and a new infrared image statistical face recognition method was proposed in this paper. Experimental results show that the recognition method is workable and has good partition capability.

Key words infrared image; face recognition; statistical analysis; Linear discriminant analysis

红外图像人脸识别是近年来生物识别技术研究的热点,是一具有广泛应用价值和挑战性的课题。从理论上来说,红外图像人脸识别可以解决在光照条件变化、人脸伪装等情况下人脸识别困难的问题。但同时也应该看到,目前红外图像人脸识别的研究不够成熟,许多影响红外图像人脸识别性能因素的机理还不是很清楚。另外,红外图像人脸识别也有其缺点^[1]。因此,在开展红外图像人脸识别研究工作时,很有必要对红外人脸图像的特性和影响红外图像人脸识别性能的有关因素等进行深入的分析,以探讨和研究提高红外图像人脸识别性能的有效途径和方法。

1 红外人脸图像的特性

1.1 红外人脸图像的光照不变特性^[2-3]

环境光照的变化对可见光人脸成像及其人脸识别性能有很大的影响,为减小或消除这种影响,在可见光人脸识别方法中各种补偿措施得到研究和采用。而人脸热红外图像基本上不受周围环境光照的影响,不需采取补偿措施。多年来的研究工作已表明,环境光照的变化对红外图像的获取以及图像的质量影响很小,红外图像人脸识别推动人脸识别的发展以及提高人脸识别性能的最大优势就是其对变化光

* 收稿日期 2005 - 12 - 05

基金项目 国家 863 高技术资助项目(2001AA144170)

作者简介 李江(1964—),男,副教授,博士后。

照环境具有不变的特点。

1.2 红外人脸图像的其它特性^[2-4]

已有的实验都证明,采集的待检测识别人脸图像与训练图库中的图像存在的时间误差,将影响红外与可见光人脸识别的性能,且其对红外图像的人脸识别性能的影响比对可见光图像人脸识别性能的影响要大得多。

另外,采集的红外人脸图像是人刚从寒冷的室外进入温度较高的室内,以及诸如人体温度的急剧变化、人脸表情的变化、人脸的姿态、人是否化妆和人是否戴眼镜等等,这些因素对红外人脸图像的成像都可产生一定的影响,从而也影响红外图像人脸识别的性能。在这些因素中,人是否戴眼镜对红外人脸图像的影响较大,从而明显影响其人脸识别的性能,而人脸姿态和人是否化妆对红外人脸图像的影响相对可见光人脸图像而言要小许多,所以对红外图像人脸识别性能的影响也相应要小。

总之,红外人脸图像具有许多不同于可见光人脸图像的特性。

2 红外图像人脸识别的特点

由于红外与可见光成像的不同机理以及红外人脸图像所具有的特性,使得红外图像人脸识别与可见光人脸识别相比较具有其本身的一些特点。

2.1 红外图像人脸识别的优势

通过对红外人脸图像特性的研究、分析以及相关的实验总结,并与可见光图像人脸识别进行比较,笔者对采用红外图像进行人脸识别的一些优势和特点进行了探讨,并结合实际应用总结出了一些有意义结论,以对研究和设计高性能的红外人脸识别系统提供帮助,具体结论如下:

红外图像人脸识别抗干扰性强,不受人脸变化和位置的影响;

红外图像人脸识别是与光强独立的,其识别性能受环境光照变化的影响很小;

红外图像人脸识别不受伪装的干扰,防欺骗性强,即使经过化妆或整容,也不能改变人脸面部的血管分布,从而不会改变人脸的热辐射模式。

2.2 红外图像人脸识别的难点

红外图像人脸识别中的难点主要表现在:一方面,红外图像人脸识别有其本身的不足,如相对可见光人脸图像而言,红外人脸图像反映的是人脸的温度分布,红外人脸图像中人脸器官的边缘轮廓和细节特征较模糊,红外线对玻璃的透射性较差,因而对戴眼镜的人脸不好识别;某些生理变化(如酒精反应)和外部环境变化(如环境温度的改变),会对人脸的热辐射产生影响,从而影响红外人脸识别性能;红外人脸图像的采集时间误差对红外人脸识别有较大的影响等等。怎么克服这些因素的影响,从而提高红外图像人脸识别的性能是目前研究的难点。另一方面,相对可见光图像人脸识别而言,当前由于相关技术条件的限制,以及对红外图像人脸识别的研究还不多,也不够深入,怎样通过对红外人脸图像特性的深入研究而设计出合理、高效和适用各种不同实际应用情况的红外图像人脸识别方法,也是我们面临的一个难题。

3 一种基于线性判别分析的红外图像人脸识别新方法

从图像处理和分析理论来说,任何图像都可看成一高维空间的元素,采用统计模型对目标图像进行描述和分析成为近年来的研究热点。通过研究和实验总结,笔者发现在红外图像人脸识别中,从观测数据的角度来分析和理解红外人脸图像的变化性,使用统计方法提取红外人脸图像中的人脸特征进行人脸分类、识别,效果不错。

为解决现有统计人脸识别方法中存在的不足^[5-6],提高其红外图像人脸识别性能,本文提出了一种新的基于 Fisher 判别准则的线性判别分析(LDA)人脸识别方法,具体算法设计如下:

设人脸图像集为 X ,由 M 类人脸图像组成,假设每类人脸图像集合均由 N 幅图像组成,每幅图像为 K 维列向量,且图像总数比图像的维数小得多,这里假设 $N > 1$ 。根据散布矩阵分析理论,分别得到

图像集的内类散布矩阵和类间散布矩阵的定义：

类内散布矩阵

$$S_w = \sum_{i=1}^M P(C_i) \Sigma_i \quad (1)$$

类间散布矩阵

$$S_b = \sum_{i=1}^M P(C_i) (m_i - m)(m_i - m)^T \quad (2)$$

其中, $\Sigma_i = E[(x - m_i)(x - m_i)^T | C = C_i]$, $P(C_i)$ 为各个类别 C_i 出现的概率, m_i 为 C_i 的均值, m 为所有图像 X 的均值。不失一般性, 假设各个类别出现的概率相同, 即 $P(C_i) = 1/M$ 。

最常用的一种类间可分性测度是 Fisher 判别准则

$$J(W) = \frac{|W^T S_b W|}{|W^T S_w W|} \quad (3)$$

这里, $|\cdot|$ 为行列式符号。对于线性可分的特征, 要达到最佳的分类目的, 必须使得上式取最大值, 使得 $J(W)$ 取最大值的矩阵 W 称为最佳投影矩阵。经过最佳投影矩阵投影后, 特征的类内差别最小, 同时类间差别最大。 W 的求解等价于求解下面的广义特征值问题：

$$S_b W = S_w W \Lambda_w \quad (4)$$

也就等价于矩阵 W 将矩阵 S_w 和 S_b 同时对角化：

$$W^T \cdot S_w \cdot W = \Lambda$$

$$W^T \cdot S_b \cdot W = I$$

3.1 求解 S_b 的特征值问题

令 $\Phi_b = [(m_1 - m) \ (m_2 - m) \ \dots \ (m_M - m)]_{K \times M}$, 不失一般性, 忽略常系数的影响, 则有 $K \times K$ 维矩阵

$$S_b = \Phi_b \cdot \Phi_b^T \quad (5)$$

由 Snapshot 方法, 令 $M \times M$ 维矩阵 $\tilde{S}_b = \Phi_b^T \cdot \Phi_b$, 先求 \tilde{S}_b 的特征矢量矩阵 \tilde{V}_b 与特征值矩阵 \tilde{D}_b , 使得 $\tilde{S}_b = \tilde{V}_b \cdot \tilde{D}_b \cdot \tilde{V}_b^T$, 这里, \tilde{V}_b 的维数是 $M \times (M - 1)$, \tilde{D}_b 的维数是 $(M - 1) \times (M - 1)$, 然后再求得 S_b 的 $K \times (M - 1)$ 维特征矢量矩阵

$$V_b = \Phi_b \cdot \tilde{V}_b \text{ 且 } V_b \cdot V_b^T = I \quad (6)$$

3.2 求 LDA 投影矩阵

令 $\Phi_w = [(x_{11} - m_1) \ (x_{12} - m_1) \ \dots \ (x_{1N} - m_1) \ (x_{21} - m_2) \ \dots \ (x_{MN} - m_M)]_{K \times (M \times N)}$, 忽略常系数, 则

$$S_w = [\Phi_w \cdot \Phi_w^T]_{K \times K} \quad (7)$$

再令 $Z = [V_b \cdot D_b^{-1/2}]_{K \times (M-1)}$, 则有

$$R \equiv Z^T \cdot S_w \cdot Z = [Z^T \cdot \Phi_w] \cdot (Z^T \cdot \Phi_w)^T_{(M-1) \times (M-1)} \quad (8)$$

这里, R 是一个低维的实对称矩阵, 可用雅可比方法求解特征值问题：

$$R = V_R \cdot D_R \cdot V_R^T \quad (9)$$

其中 $V_R \cdot V_R^T = I$, 也即 $V_R^T \cdot R \cdot V_R = D_R$, 矩阵 V_R 将 R 对角化。再令 $W = (Z \cdot V_R)^T$, 则有

$$W \cdot S_w \cdot W^T = (Z \cdot V_R)^T \cdot S_w \cdot (Z \cdot V_R) = V_R^T \cdot Z^T \cdot S_w \cdot Z \cdot V_R = V_R^T \cdot R \cdot V_R = D_R \quad (10)$$

$$W \cdot S_b \cdot W^T = (Z \cdot V_R)^T \cdot S_b \cdot (Z \cdot V_R) = V_R^T \cdot Z^T \cdot S_b \cdot Z \cdot V_R = V_R^T \cdot I \cdot V_R = I \quad (11)$$

矩阵 W 将 S_b 和 S_w 同时对角化, 从而使得 $J(W)$ 取到最大值。根据 Fisher 判别准则, W 即为所求的 LDA 最佳投影矩阵。

3.3 人脸分类、识别

LDA 函数如下：

$$d(x) = Wx \quad (12)$$

利用简单的欧式距离,根据最近邻准则,将待识别图像的投影系数矢量与训练集的投影系数矢量集进行匹配,最小距离所对应的训练集图像所属类别即为待识别图像的匹配类别,从而可实现人脸的分类与识别。

由上文的推导可以看出,该方法是对现有 LDA 方法的一种改进和提高。该方法利用 Snapshot 方法直接对类间散布矩阵求解特征值,达到了降维的目的,计算量较小,易于计算机实现,同时避免了有用信息的损失(因为红外人脸灰度图像反映了人脸组织结构包含物质的特性及温度差异、分布等情况,这些特征的细微变化和不同将引起人脸图像较大的变化,所以避免有用信息的损失对红外图像人脸识别尤其重要)。实验结果充分表明了这一方法的有效性和优越性。

4 实验结果及分析

选择 HID 标准人脸图像库和自拍的红外、可见光人脸图像(30人,每人10幅图像含各种姿态、表情、化妆、戴眼镜、环境温度有变化等情况),对现有 LDA、现有的主元分析(PCA)人脸识别方法和本文设计的 LDA 新方法进行比较实验。实验时每类图像选5个人脸图像作为训练样本,其余为测试所用。表1为实验结果表,实验表明:本文提出的红外图像统计人脸识别算法的性能优越,人脸识别率较现有统计人脸识别方法有比较大的提高(特别是对自拍红外人脸图像更加明显),具有实用价值。

表1 统计人脸识别方法比较实验结果表

Tab.1 Comparison of statistical face recognition methods

人脸图像类型	人脸识别方法	人脸识别率
HID 标准库红外图像	现有 LDA 方法	88%
HID 标准库红外图像	现有 PCA 方法	85%
HID 标准库红外图像	新 LDA 方法	95%
自拍红外人脸图像	现有 LDA 方法	70%
自拍红外人脸图像	现有 PCA 方法	68%
自拍红外人脸图像	新 LDA 方法	91%
自拍可见光人脸图像	现有 LDA 方法	90%
自拍可见光人脸图像	现有 PCA 方法	89%
自拍可见光人脸图像	新 LDA 方法	93%

5 结束语

对红外人脸图像的特性、影响红外图像人脸识别性能诸因素及红外图像人脸识别的特点进行了研究,并提出了一种新的红外图像统计人脸识别方法。实验结果表明,这种识别方法具有较高的人脸识别率,方法可行、稳定。

参考文献:

- [1] Prokoski F J. History, Current Status, and Future of Infrared Identification[A]. In Proceedings IEEE Workshop on Computer Vision Beyond the Visible Spectrum: Methods and Applications[C], Hilton Head, 2000.
- [2] Chen X, Flynn P J, Bowyer K W. Visible-light and Infrared Face Recognition[A]. In Proceedings IEEE Workshop on Multimodal User Authentication[C], Santa Barbara, CA, USA, 2003. 12: 48-55.
- [3] Socolinsky D A, Wolff L B, Neuheisel J D et al. Illumination Invariant Face Recognition Using Thermal Infrared Imagery[A]. In Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR '01), Kauai, Hawaii, USA, 2001. 1: 527-534.
- [4] Wolff L B, Socolinsky D A, Eveland C K. Faces Recognition in the Thermal Infrared[R]. Equinox Corporation, 2004.
- [5] Chen L, Liao H, Ko M, et al. A new LDA-based Face Recognition System Which Can Solve the Small Sample Size Problem[J]. Pattern Recognition, 2000, 33(10): 1713-1726.
- [6] Liu J, Plataniotis K, Venetsanopoulos A. Face Recognition Using LDA-based Algorithms[J]. IEEE Transaction on Neural Networks, 2003, 14: 195-200.

