

基于辐射能量的红外人脸识别

伍世虔 韦礼珍 方志军 李润午 王正友

(江西财经大学信息管理学院, 南昌 330013)

摘要 人脸识别至今还是计算机视觉中的一个难题,用红外人脸图像来进行识别是近几年才发展的一个新领域,虽然其独立于光源,不易受外部光线的影响,但研究发现,人脸温谱图因受到一系列内在(生理、心理等)和外在(环境、成像等)条件的影响而使识别率下降。针对这一问题,根据 Stefan-Boltzmann 定律,提出把易受环境温度影响的面部温度数据转换为较为鲁棒的辐射能量数据来进行识别,以提高红外图像人脸识别的性能。理论分析显示,当人体处于一个稳定的状态时,辐射能量图对周围环境温度的敏感度较低。实验结果表明,基于辐射能量图的识别率高于基于温谱图的识别率。

关键词 人脸识别 红外图像 辐射能量

中图分类号: TP319.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2007)10-1845-04

Radiation-energy Based Infrared Face Recognition

WU Shi-qian, WEI Li-zhen, FANG Zhi-jun, LI Run-wu, WANG Zheng-you

(School of Information Technology, Jiangxi University of Finance & Economics, Nanchang 330013)

Abstract Developing a reliable face recognition system has been an open problem. Infrared (IR) imagery appears to be a good alternative as it is independent of external illumination. However, IR images are also affected by a series of factors ranging from imaging, ambient condition to physiological and psychological conditions. The variations of temperature in IR images have analogous effects of illumination in visual images. In this paper, a method based on Stefan-Boltzmann Law has been applied to convert the facial temperature data into more consistent radiation energy data. The experiments conducted illustrate that the radiation energy data are less sensitive to ambient temperature if the human bodies are in steady state, and significantly outperforms temperature data in terms of recognition rate.

Keywords face recognition, infrared images, radiation energy

1 引言

人脸识别技术,由于具有直观性、被动性和非侵犯性,因而成为当今生物识别技术中最为活跃的一个领域。近十多年来,来自数学、计算机、心理学,乃至认知科学方面的研究人员都在努力探索利用计算机自动识别人脸的理论和算法,并产生了一批人脸识别系统。但这些工作主要基于可见光照相机,因为大量照片都由这类相机产生,且这种相机便宜、可

靠、分辨率高。但是到目前为止,还没有一个系统可以稳定可靠地应用于实际人脸识别中。因其性能受到光线、阴影、化妆等一系列外部因素的影响,而且人脸是3维的弹性物体,它随姿态、表情、发型等的变化而变化,而所有这些变化都难以建模、描述和分析。2002年在美国海军部、反毒品局及标准局的主持下举行的人脸识别产品竞赛(FRVT2002)的结果表明,对于像 Visionics 公司开发的 FaceIt 等10个全球最著名的产品,如果环境严格控制,且被测对象也给人以一定的配合,则效果还是满意的(正确率大于95%),否

基金项目:国家自然科学基金项目(60665001,60662003,60462003);江西省自然科学基金项目(0611025)

收稿日期:2007-06-01; **改回日期:**2007-07-25

第一作者简介:伍世虔(1964~),男,教授,博士生导师、IEEE高级会员和SPIE会员,担任IEEE Trans. Fuzzy Systems, IEEE Trans. Systems, Man & Cybernetics (Part B); Neurocomputing, Information Science 等国际杂志编审,ICIP, AVBPA, ICME 等多个国际会议论文评审委员会委员,以及第五届信息、通讯及信号处理国际会议(ICICS 2005)论文评审委员会委员、人脸识别分会主席。主要研究方向为生物识别、红外图像分析、模糊逻辑及神经网络。E-mail: shiqian.wu@gmail.com

则性能会急剧下降,识别率只有 30% ~ 50%。

近几年,有研究人员尝试用红外技术来进行人脸识别^[1-4],它的最大好处是红外图像不受外部光线的影响。同时,人是恒温动物,人的皮肤具有很高的发射率,可近似认为是黑体(发射率为 1),且发射率不受种族,肤色的影响,这就是说,在所拍摄的人脸图像中,当人体温度与环境温度接近时,人脸部分总是最亮的,这为人脸图像的分割带来了很大的便利^[1]。

但是需指出的是,“恒温动物”只是大概地说明了人体的内部温度是恒定的,而皮肤温度的分布则是随着人、时间和环境的不同而改变的^[5]。实际上,人脸温谱图还受到各种内在的(生理,心理等)和外在的(环境,成像等)条件的影响。这些变化将会严重影响红外识别系统的性能,正如文献[4]中所说的。很明显,红外图像中环境温度的影响等同于可见光图像中光照的影响。

那么怎样提高红外人脸识别系统在不同环境下的性能? 本文根据 Stefan-Boltzmann 定律,提出把人体温谱图转为辐射能量图,并将此能量数据用于人脸识别,实验结果表明,此方法是有效的。

2 辐射能量图

2.1 Stefan-Boltzmann 定律

众所周知,任何温度高于 0K 的物体都会向外界辐射能量,且物体的温度不同,对外辐射的能量也不同。通过对黑体的研究,1879 年 Josef Stefan 提出 Stefan-Boltzmann 定律,即黑体辐射的总能量 E 和绝对温度 T 的四次方成正比^[5],即

$$E = \sigma T^4 \quad (1)$$

其中, $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ 为 Stefan-Boltzmann 常量。

对于一般物体,其辐射能量会受到自身发射率(黑体的发射率为 1)和所处环境温度的影响。如果人脸皮肤温度为 T ,当外部温度为 T_e (下角 e 代表 environment)时的对外辐射能量为 E ,则根据 Stefan-Boltzmann 定律,有

$$E = \epsilon \sigma (T^4 - T_e^4) \quad (2)$$

ϵ 为发射率。通常人的皮肤对长波红外的吸收很高,所以具有很高的发射率,一般在 0.97 以上,本文选定 $\epsilon = 0.98$ 。

假设人体处于一个稳定的状态,人脸皮肤温度要高于外部环境的温度,且红外相机能准确地测出

皮肤温度,则通过式(2)可以把易受环境温度影响的温谱图转换成更为鲁棒的辐射能量图。

2.2 分析和讨论

从变换的观点看,式(2)定义了一个从温谱空间到辐射能量空间的匹配。此外,这一变换为点变换,它既保持了人脸特征信息的位置不变,同时也保证了人脸图像的几何信息没有产生变形。

对能量 E 进行求导:

$$\frac{dE}{dT} = 4\epsilon\sigma T^3 \quad (3)$$

因为 $T > 0$,所以 $\frac{dE}{dT}$ 一直为正数,这就意味着皮肤温度同能量是一种单调的正比关系,温度高的皮肤区域具有较高的能量。图 1 说明了温度同能量的关系。

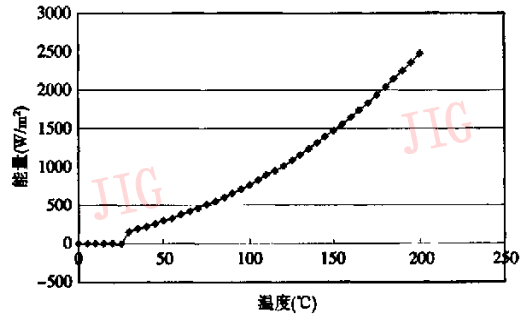


图 1 辐射能量和温度的关系图

Fig. 1 The relationship between temperature and energy

从图像处理的角度看, $\frac{dE}{dT}$ 的值随着 T 变大而变大,所以这个变换是一个非线性变换(如图 1 所示)。这一变换对温度低的部分,加权较小,而对温度高的部分加权较大。因而对温度较低且容易变化的背景和头发部分,在辐射能量图中就受到了一定的抑制(如图 2 所示)。



(a) 温谱图 (b) 对应的能量图

图 2 温谱图与对应的能量图

Fig. 2 Thermal face and corresponding energy face

此外,这一变换对环境温度的变化不敏感,当环境温度变化为 ΔT_e 时,能量的变化为

$$\begin{aligned} \Delta E &= \epsilon\sigma T^4 \left[1 - \left(\frac{T_e}{T} \right)^4 \right] - \epsilon\sigma T^4 \left[1 - \left(\frac{T_e + \Delta T_e}{T} \right)^4 \right] \\ &= \epsilon\sigma T^4 \left[\left(\frac{T_e + \Delta T_e}{T} \right)^4 - \left(\frac{T_e}{T} \right)^4 \right] \\ &= \epsilon\sigma T^4 \left[4 \frac{T_e^3}{T^3} \frac{\Delta T_e}{T} + 6 \frac{T_e^2}{T^2} \left(\frac{\Delta T_e}{T} \right)^2 + \right. \\ &\quad \left. 4 \frac{T_e}{T} \left(\frac{\Delta T_e}{T} \right)^3 + \left(\frac{\Delta T_e}{T} \right)^4 \right] \end{aligned} \quad (4)$$

如果 ΔT_e 比较小,则 $\frac{\Delta T_e}{T}$ 趋近于 0 (T 为开尔文温度),从而可以忽略高阶部分,即

$$\Delta E \approx 4\epsilon\sigma T_e^3 (\Delta T_e) \quad (5)$$

从式(5)中可以看出,如果 T_e 变化很小,则能量的变化 ΔE 同环境温度的变化 ΔT_e 几乎是线性关系。当使用主成分分析(PCA)、离散余弦变换(DCT)、离散小波变换(DWT)等方法进行特征提取时,在环境温度分别为 T_e 和 $T_e + \Delta T_e$ 时,基于能量图提取的特征是相同的。这就意味着,当环境温度发生较小的变化时,并不会导致识别率的下降。

3 实验结果及分析

3.1 数据库采集

本文采集图像所用的相机是由 FLIR 公司生产的 ThermoVisionA40 红外相机。这种相机使用无冷却微辐射热测量传感器,其像素分辨率为 320×240 ,光谱响应频段为 $7.5 \sim 13 \mu\text{m}$ 。为准确测出被测对象的表面温度,该设备设有温度自校正功能,以消除温漂。其温度敏感度高达 0.08°C 。

本数据库中包含 50 个人共 1000 张图像,这些图像都是在同一条件下采集的,即在温控条件下控制温度在 $25.6 \sim 26.3^\circ\text{C}$ 左右。每个人都站在照相机前大约 1m 的地方。其中的 500 张为训练样本,另外 500 张为测试样本。训练样本中有 50 人,每个人有 10 个样本,其中 2 个正面,2 个朝上看,2 个朝下看,2 个朝左看及 2 个朝右看。每个对象的样本都在 1min 之内获取。因为眼镜对红外光来说是不透明的,所以样本都没有戴眼镜。

3.2 人脸检测与识别

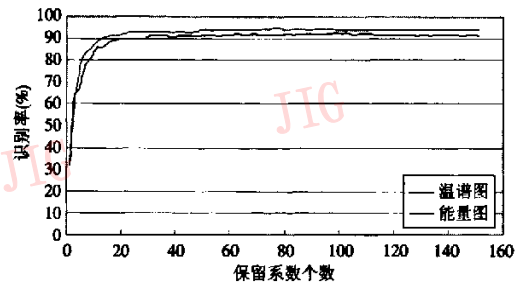
根据温度差异,可以方便地检测出脸部区域,并归一化到相同尺寸(80×60) (如图 3 所示)。图像



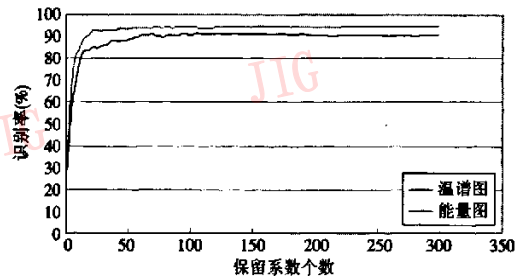
图 3 原始图像与归一化图像
Fig. 3 Original image and its normalized image

插值均采用最近邻法,以确保数值变化不大。

为了验证辐射能量数据用于人脸识别的可行性,本文采用 4 种不同的识别方法对归一化的图像进行识别。4 种方法分别为 PCA、DWT + PCA、DWT + DCT、频谱脸方法^[6]。其中,DWT + PCA 方法先对归一化的图像进行两级小波分解,再对分解后的低频子带用 PCA 方法进行识别;DWT + DCT 方法先对图像进行两级小波分解,然后对分解后的低频子带进行 DCT 变换,再按“Z”字形提取 DCT 系数作为特征用来进行识别;频谱脸方法为文献[6]中所提出的方法。上面 4 种方法均使用欧氏距离和最近邻分类器来进行分类。实验结果(识别率)如图 4 和表 1 所示。



(a) 基于 PCA 方法的比较



(b) 基于 DWT + DCT 方法的比较

图 4 保留的系数同识别率关系的对比
Fig. 4 Number of reserved coefficients and corresponding recognize rate

表 1 各种方法最高识别率的比较

Tab.1 The highest recognition rates of several methods

方法	识别率(%)
温谱图 + PCA	92.4(462/500)
能量图 + PCA	94.8(474/500)
温谱图 + DWT + PCA	93.0(465/500)
能量图 + DWT + PCA	95.0(475/500)
温谱图 + 频谱脸	92.6(463/500)
能量图 + 频谱脸	94.4(472/500)
温谱图 + DWT + DCT	91.4(457/500)
能量图 + DWT + DCT	95.0(475/500)

注:识别率括号中的数据为正确识别样本数/总样本数。

从图 4 和表 1 中可以看到,不管使用上述哪种方法进行识别,基于能量图的识别率均高于基于温谱图的识别率。

4 结 论

本文依据能量辐射定律,提出把容易变化的人脸温谱图转换为较为稳定的辐射能量图来进行人脸识别。理论分析和实验结果均表明,基于辐射能量数据的识别效果显著地优于基于温度数据的识别结果。如何进一步地分析生理和心理因素对识别的影

响以及怎样提取辐射能量图中的独特特征是今后研究的重点。

参考文献(References)

- 1 Kong Seong G, Heo J, Abidi Besma R, et al. Recent advances in visual and infrared face recognition—a Review[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2005, 97(1): 103 ~ 135.
- 2 Prokoeki F J, Riedel B, Coffin J S. Identification of individuals by means of facial thermography [A]. In: Proceedings of IEEE International Camahan Conference on Security Technology, Crime Countermeasures[C], Atlanta GA, USA, 1992: 120 ~ 125.
- 3 Li Jiang. The research on face recognition approaches of infrared imagery [D], Ph. D. Thesis, Changsha: National University of Defense Technology, 2005. [李江. 红外图像人脸识别方法研究[D]. 博士学位论文,长沙:国防科技大学, 2005.]
- 4 Chen X, Flynn P J, Bowye K W. PCA-based face recognition in infrared imagery: baseline and comparative studies [A]. In: Proceedings of IEEE International Workshop on Analysis and Modeling of Faces and Gestures[C], Nice, France, 2003: 127 ~ 134.
- 5 Houdas Y, Ring E F J. Human Body Temperature: Its Measurement and Regulation[M]. New York, USA: Plenum Press, 1982.
- 6 Lai Jian-huang, Ruan Bang-zhi, Feng Guo-can. Spectroface: a face recognition method based on wavelet transform and Fourier transform [J]. Journal of Image and Graphics, 1999, 4(10): 811 ~ 816. [赖剑煌,阮邦志,冯国灿. 频谱脸:一种基于小波变换和 Fourier 变换的人像识别方法[J]. 中国图象图形学报, 1999, 4(10): 811 ~ 816.]