

DOI: 10.13382/j.jemi.2017.03.004

# 基于面部红外热图的恐惧情绪识别\*

刘小燕<sup>1</sup> 郭群<sup>1</sup> 龚军辉<sup>1,2</sup> 孙彪<sup>1</sup> 刘敏<sup>1</sup>

(1. 湖南大学 电气与信息工程学院 长沙 410082; 2. 湖南工程学院 电气信息学院 湘潭 411101)

**摘要:** 恐惧情绪是人体应对外界刺激的一种反应,其产生会引起人体面部皮肤温度的变化。根据红外热图反映物体表面温度分布的原理,提出了一种基于面部红外热图对恐惧情绪进行识别的方法。首先采用指数函数拟合方法对现有的传热模型进行简化,将红外热像仪所采集的面部红外热图转化为血液灌注伪彩色图,寻找感兴趣区域(前额区域);然后,提取感兴趣区域的血液灌注变化曲线的相关特征(斜率、置信度、均值、标准偏差),并采用斯皮尔曼相关系数分析其与受试对象恐惧程度自评分数之间的相关性;最后采用与恐惧程度自评分数相关性最高的标准偏差对受试对象进行恐惧情绪的识别。实验结果表明,当受试对象产生恐惧情绪时,前额区域的血液灌注呈现出明显的下降趋势,这与现有的恐惧情绪研究结论一致;血液灌注值的标准偏差可以作为恐惧情绪识别的主要特征(阈值0.14)。采用本文所提出的方法,对28例样本进行测试,受试对象恐惧情绪的识别准确率达到85.7%,具有较高的可靠性。

**关键词:** 情绪识别;红外热图;传热模型;血液灌注;标准偏差

**中图分类号:** TN219;TP391.4 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510

## Recognition of fearful emotion based on facial infrared thermal images

Liu Xiaoyan<sup>1</sup> Guo Qun<sup>1</sup> Gong Junhui<sup>1,2</sup> Sun Biao<sup>1</sup> Liu Min<sup>1</sup>

(1. College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China;

2. College of Electrical and Information Engineering, Hunan Institute of Engineering, Xiangtan 411101, China)

**Abstract:** Fearful emotion is a response to the external stimuli of human. The generation of fearful emotion could lead to the change in the facial skin temperature. According to the principle of infrared thermal images reflecting the temperature distribution on the surface of objects, a method based on infrared thermal images is proposed to recognize the fearful emotion. Firstly, a heat transfer model is simplified by curving fitting of exponential function, and the facial infrared thermal image is converted into the blood perfusion pseudo-color image to find the regions of interest (forehead region). Then, features of the blood perfusion change curves are extracted (slope, confidence coefficient, mean value, and standard deviation), and the correlation between the features and the self-assessment score of the fearful emotion is analyzed using Spearman correlation coefficient. Finally, the standard deviation which is highly related to the self-assessment score is applied to recognize the fearful emotion of the subject. The experimental results show that there is an obvious decrease in the blood perfusion of forehead region in the presence of fearful emotion, which is consistent with observations of previous studies, and the standard deviation (with a threshold of 0.14) of the blood perfusion values is a main feature for recognition of the fearful emotion. The proposed method is demonstrated to be satisfactory and reliable with an accuracy of 85.7% for all the 28 tested subjects.

**Keywords:** emotion recognition; infrared thermal images; heat transfer model; blood perfusion; standard deviation

## 1 引言

情绪是人类行为的重要表现,是指人体应对外界刺激时所作出的反应<sup>[1]</sup>。情绪识别是指通过获取人的生理或非生理信号对人的心理状态进行推断,以提供关于交感神经活动的有用信息,可应用于医疗、人机交互、人工智能等多种领域。具备感知情绪状态能力的机器人系统是人类社会不可或缺的一部分,而情绪识别是实现情绪感知的重要环节。

目前,已有研究者通过测量不同生理参数对人体的情绪进行识别。Zouridakis 等人<sup>[2]</sup>将原始的脑电信号映射到不同的频段上来提取脑电信号的特征,然后利用这些特征进行情绪的识别。Kim 等人<sup>[3]</sup>将心电图、肌电、皮肤电导和呼吸等多种自主生理信号的时频特征信息进行融合,对由音乐诱发的四种情绪进行了分类和识别。陈继华等人<sup>[4]</sup>采集了多名受试对象的生理参数如皮肤电反应、心电图等,应用 SPSS 对各生理参数进行情绪的单因素方差分析,然后采用逐步多类判别法提取特征参数以识别情绪。但是,测量这些生理参数需要设备与受试对象直接接触,在某种程度上会对受试对象产生干扰,影响实验结果。此外,评估这些生理参数需要一定的时间,有可能会影响受试对象的自发反应,不利于恐惧情绪(有可能是瞬时性的)的快速识别。

情绪变化会对皮肤血管的舒张度产生影响,进而改变皮肤血管的血液灌注,而血液灌注的变化会直接引起皮肤表面温度的变化<sup>[5]</sup>。物体表面温度可通过一种非侵入、非接触式的测量方法即红外热成像技术进行测量<sup>[6-8]</sup>。因此,可采用以红外热成像技术为核心技术的红外热像仪对皮肤表面的温度进行动态记录<sup>[9]</sup>。目前,已有少数研究者对恐惧情绪状态下人体面部皮肤温度的变化进行了测量研究,并得到了相对一致的结论:当人体产生恐惧情绪时,其面部皮肤温度会有所下降<sup>[10-11]</sup>。然而,目前尚未有公开的文献对恐惧情绪这种特定的情绪进行识别。

根据当人体产生恐惧情绪时其面部皮肤温度会有所下降这一现象,本文对采集的面部红外热图进行处理分析,研究了恐惧情绪对人体面部皮肤温度变化的影响,并据此提出了一种对恐惧情绪进行快速识别的方法,具体内容包:受试对象及恐惧情绪诱导源的选取、面部红外热图的采集、感兴趣区域(region of interest, ROI)的选取、特征选取及恐惧情绪识别。

## 2 材料和方法

### 2.1 材料

实验选取了 39 名健康受试对象,年龄主要分布在

19~25 岁(男 21 名,女 18 名)。红外热图采集之前,受试对象均先填写了多伦多述情障碍量表<sup>[12]</sup>以确保受试对象可正确表达自己的情绪,并签署了知情同意书。

实验采用 RT513 红外热像仪采集受试对象面部红外热图,该红外热像仪的工作波段为 8~14  $\mu\text{m}$ ,温度分辨率为 0.08  $^{\circ}\text{C}$ ,帧图像大小为 320×240 像素,帧率为 25 帧/s。受试对象面部红外热图的采集在空调房进行,室温保持在  $20 \pm 1$   $^{\circ}\text{C}$ ,湿度为 50%~60% RH。

### 2.2 方法

图 1 所示为本文研究方法的框图。首先,选取合理的恐惧情绪诱导源;其次,利用 RT513 红外热像仪记录受试对象在实验过程中的面部红外热图视频;然后,根据血液灌注伪彩色图选取受试对象的面部 ROI,并对 ROI 的数据进行处理分析,提取相关特征;最后,根据主要特征,完成恐惧情绪的识别。

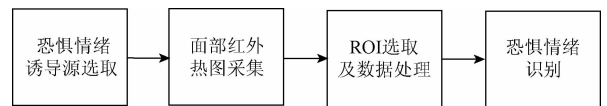


图 1 恐惧情绪识别研究方法

Fig. 1 Block diagram of the research method for recognition of fearful emotion

#### 2.2.1 恐惧情绪诱导源的选取

对受试对象恐惧情绪的诱发是实验的关键环节之一,选择合理的恐惧情绪诱导源尤为重要。在诱发某种特定情绪的实验中,研究者多采用电影片段作为刺激材料。靳宵等人已研究证明电影《死寂》对受试对象的恐惧情绪诱导率非常高<sup>[13]</sup>,因此,本实验选取了其中的一个恐怖场景片段对受试对象进行情绪诱导,视频时长为 100 s。

#### 2.2.2 面部红外热图采集

本文采用如图 2 所示的硬件平台对受试对象的面部红外热图进行采集。采集过程如下:首先,让受试对象选自己感觉最为舒适的坐姿,尽量保持头部的不动(为了让受试对象在自然状态下参与实验,实验过程中未对受试对象进行头部固定);然后,利用电脑中所播放的恐惧情绪诱导视频对受试对象进行恐惧情绪的诱导,同时采用 RT513 红外热像仪对受试对象的面部进行实时拍摄,将所采集到的面部红外热图保存到与热像仪相连接的计算机中,并实时显示在屏幕上。图 3 所示为某受试对象的面部红外热图示例。

观看完恐惧情绪诱导视频后,关闭红外热像仪,受试对象根据自己在观看视频过程中产生的恐惧情绪程度,在《恐惧程度自评表》中打分。其中,0 分表示几乎不引起恐惧,1 分表示恐惧较少,2 分表示恐惧程度一般,3 分表示恐惧较多,4 分表示非常恐惧。

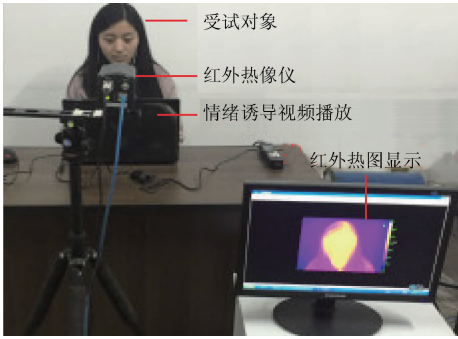


图2 面部红外热图采集硬件平台

Fig.2 Hardware platform collecting facial infrared thermal image



图3 某受试对象的面部红外热图示例

Fig.3 An example of facial infrared image of a subject

### 2.2.3 ROI 选取

研究发现,情绪的产生会引起面部表面温度的变化且具有空间特异性,面部不同区域在受到刺激时具有不同的热属性<sup>[14]</sup>。感兴趣区域的正确选取是对情绪的产生进行分析的重要前提,对后续环节的操作会产生关键的影响。由于RT513红外热像仪的测温范围相对人脸表面温度的变化过大,不易从原始的面部红外热图序列中直接观察到受试对象面部温度明显变化的区域,因此有必要对面部红外热图进行转换,以利于后续分析。

已有研究表明,皮肤温度的变化是由于血管紧张度引起的<sup>[15]</sup>,血液灌注率对人体变化的研究更具有鲁棒性<sup>[16]</sup>。因此,本文采用如图4所示的方法将面部皮肤温度转换为血液灌注值来确定ROI。首先,利用传热模型将每一帧红外热图所对应的面部皮肤温度转换为血液灌注值;然后,通过图像处理工具将血液灌注值转换为血液灌注伪彩色图;最后,由血液灌注伪彩色图选取出感兴趣区域。

#### 1) 传热模型

Wu等人<sup>[16]</sup>根据人体面部传热机理,研究了皮肤空间某点(x,y)的温度T与该点血液灌注值ω之间的关系,得出了以下传热模型:

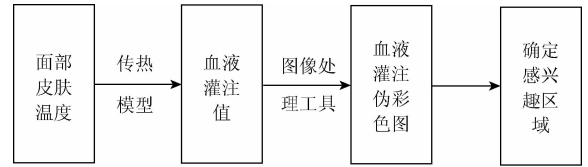


图4 ROI选择方法

Fig.4 ROI selection method

$$\omega = \frac{H_r + H_f - H_c - H_m}{\alpha c_b (T_a - T)} \quad (1)$$

式中: $H_m$  为常数4.186,  $H_r = \varepsilon\sigma(T^4 - T_e^4)$  (2)

$$H_f = AK_f d^{3M-1} (P_r g \beta / \nu^2)^M (T - T_e)^{M+1} \quad (3)$$

$$H_c = \frac{K_s (T_c - T)}{D} \quad (4)$$

各个参数的含义及取值<sup>[16-17]</sup>如表1所示。

表1 传热模型中各参数的含义及取值

Table 1 Parameter list of the heat transfer model

参数	含义	取值
A	皮肤逆流交换比率	0.8
$c_b$	血比热	$3.78 \times 10^3 \text{ J}/(\text{kgK})$
$T_a$	核心体温	312.15 K
$\varepsilon$	人体皮肤发射率	0.95
$\sigma$	斯蒂芬-玻尔兹曼常数	$5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$
$T_e$	环境温度	293.15 K
A	常数	0.27
$K_f$	空气的导热系数	$0.024 \text{ W}/(\text{mK})$
d	对象的特征长度	0.170
M	常数	0.25
$P_r$	普朗特数	0.72
g	重力加速度	$9.8 \text{ m}^2/\text{s}$
$\beta$	空气热膨胀系数	$4.075 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$
$\nu$	空气运动粘滞系数	$1.56 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
$K_s$	皮肤热导率	$0.5 \text{ W}/(\text{mK})$
$T_c$	核心体温	312.15 K
D	身体核心到皮肤表面的距离	0.085

由表1可以看出,上述传热模型输入参数多,计算过程复杂。因此,本文采用最小二乘法数据拟合方法,对传热模型进行简化。具体方法如下:选取受试对象前额区域的温度数据,计算出每一时刻前额区域温度均值,然后根据式(1)~(4)计算出对应的血液灌注值,得到如图5所示的ω-T关系散点图,采用最小二乘拟合方法,用以下指数函数:

$$\omega = 0.0644 \times e^{0.35367T} / 1000 \quad (5)$$

近似代替式(1)~(4),以描述血液灌注值与皮肤温度之间的函数关系。从图5可以看出,该指数函数具有很高的置信度( $R^2 = 0.999$ ),效果优良。与式(1)相比,

式(5)结构简单,计算方便,对后续的数据处理与分析十分有利。

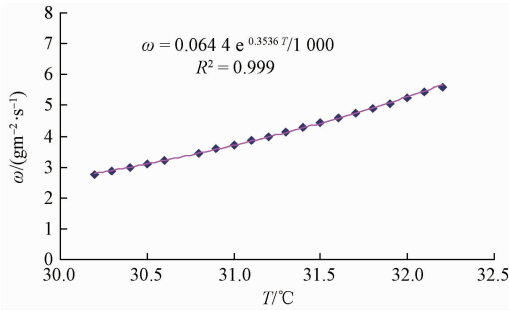


图 5 皮肤温度与血液灌注值之间的关系  
Fig. 5 Relationship between skin temperature and blood perfusion value

根据式(5),将每位受试对象的面部红外热图温度矩阵转换为血液灌注矩阵,然后利用 MATLAB 图像处理工具将血液灌注矩阵以血液灌注伪彩色图的形式显示出来。图 6 所示为某受试对象的血液灌注伪彩色示例图。其中,血液灌注值与调色板颜色之间为线性映射关系,血液灌注值越大,对应的颜色越红。由图 6 可见,血液灌注伪彩色图非常直观地反映了受试对象面部血液灌注值的分布情况。

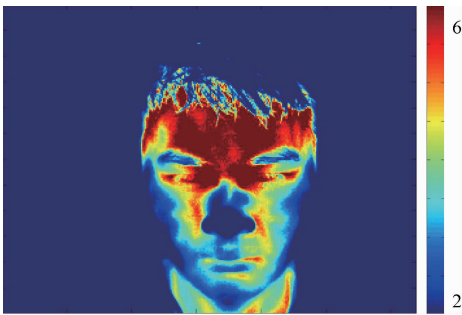


图 6 某受试对象的血液灌注伪彩色图示例  
Fig. 6 An example of pseudo-color image of blood perfusion of a subject

### 2) 感兴趣区域的确定

将每位受试对象观看诱导视频过程中第 0、25、50、75、100 s 时刻的血液灌注伪彩色图序列进行了观察分析(图 7),发现恐惧程度自评评分  $C$  较高(2~4 分)的受试对象前额区域(图 7 矩形所标记区域)的血液灌注值会出现明显的下降,而恐惧程度自评评分较低(0~1 分)的受试对象其前额区域的血液灌注值无明显变化。这表明,当受试对象在受到恐惧诱导视频刺激时,其面部前额区域是血液灌注值变化较大的一个区域,可作为感兴趣区域进一步详细分析。图 8 所示为受试对象原始红外热图中前额区域选取的示例图。

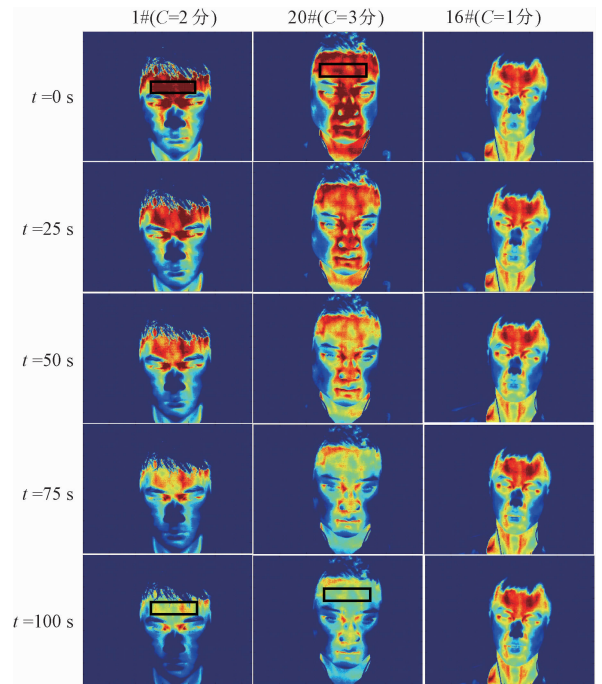


图 7 受试对象不同时刻的血液灌注伪彩色图  
Fig. 7 Pseudo-color images of blood perfusion of some subject in different time

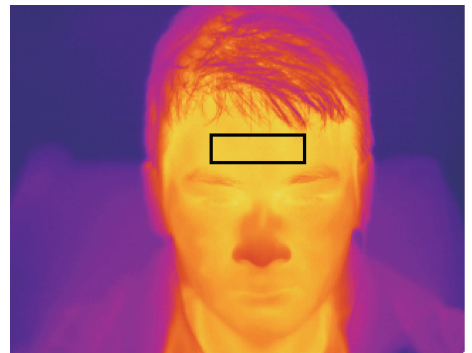


图 8 某受试对象 ROI(前额区域)选取示例  
Fig. 8 The selected ROI (forehead region) of a subject

## 3 实验结果与分析

### 3.1 受试对象前额区域血液灌注曲线

根据上述方法,对每位受试对象的原始红外热图进行处理,获取前额区域血液灌注值随时间变化曲线,主要过程如图 9 所示,将受试对象每一帧红外热图所对应的前额区域温度数据导出后,利用 MATLAB 编程求出前额温度的平均值;根据式(5)传热模型,求出对应的血液灌注值。对受试对象的红外热图序列进行上述处理,即可获得该受试对象的血液灌注值随时间的变化曲线。



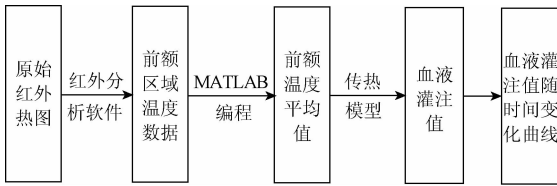


图9 ROI(前额区域)的血液灌注曲线获取方法

Fig.9 Method obtaining the blood perfusion curves of the ROI (forehead region)

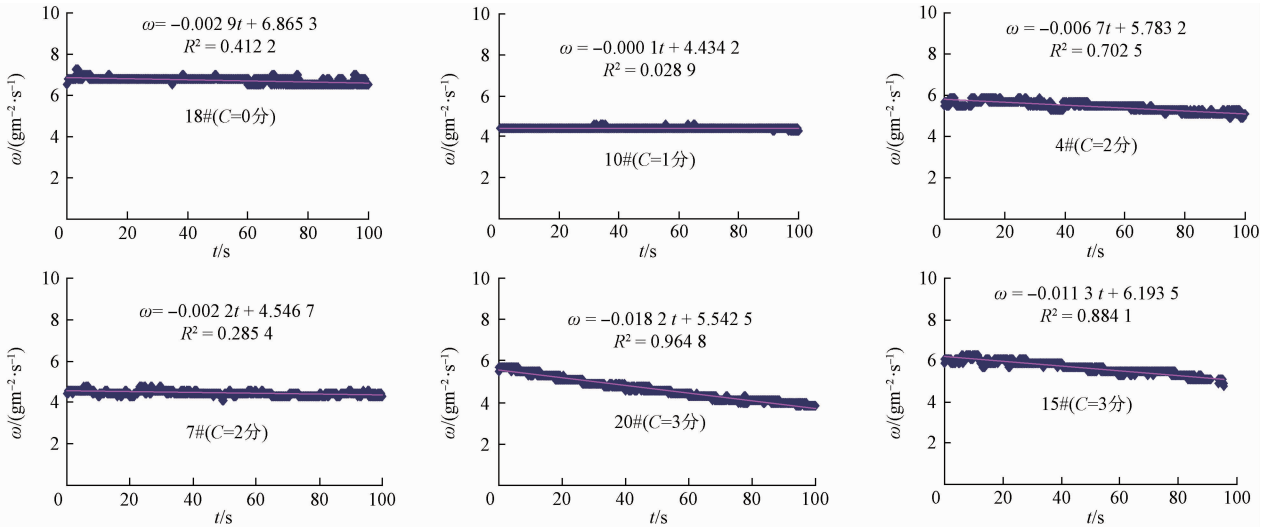


图10 受试对象 ROI(前额区域)血液灌注变化曲线

Fig.10 Blood perfusion curves of the ROI region

### 3.2 特征选取

对受试对象前额血液灌注值进行分析,提取其统计特征量(平均值  $\bar{x}$ 、标准偏差  $Stdev$ )。标准偏差反映了数值相对于平均值的离散程度,其计算公式如下:

$$Stdev = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (6)$$

式中: $n$ 表示血液灌注值的时间点数, $x_i$ 为每个时间点所对应的血液灌注值。此外,为定量研究血液灌注值随时间变化曲线的变化趋势,对血液灌注值随时间变化曲线进行了线性拟合(图10),求出相应的斜率( $K$ )及拟合置信度( $R^2$ )作为特征。表2给出了28名受试对象的性别( $f$ 代表女性, $m$ 代表男性)、年龄、多伦多述情障碍量表(TAS)分数、恐惧程度自评分数以及血液灌注值的特征数据。

表2中 $K < 0$ 且 $R^2$ 较高时,表明受试对象的血液灌注值有明显的下降趋势, $|K|$ 越大,说明血液灌注值下降的程度越大(图10)。据此能发现,表2中恐惧程度自评分较高的受试对象,其前额区域血液灌注值大多呈线性下降趋势,这与文献[10-11]研究结论一致。为确定主特

征,本文计算了斜率、置信度、平均值、标准偏差与受试对象观看视频后恐惧程度自评分之间的斯皮尔曼相关系数<sup>[18]</sup>,得到的相关系数分别为0.39、0.33、-0.32、0.57。这表明,与受试对象恐惧程度自评分最相关的特征是标准偏差。因此,本文最终选择采用血液灌注值的标准偏差作为恐惧情绪识别的主特征。

### 3.3 恐惧情绪的识别

选取了前额血液灌注值的标准偏差作为恐惧情绪识别的主特征后,可选择某一阈值将受试对象分为两类:若受试对象前额血液灌注值的标准偏差大于所选阈值,则将该受试对象识别为有恐惧情绪产生;反之,则将该受试对象识别为未有恐惧情绪产生。此外,按恐惧程度自评分数将受试对象分为“有恐惧情绪产生”和“未有恐惧情绪产生”两类(2~4分为有恐惧情绪产生,0~1分为未有恐惧情绪产生),并将此结果作为基准数据。图11给出了28名受试对象前额血液灌注值的标准偏差与恐惧程度自评分的关系。从图中可看出,当标准偏差的阈值取 $0.14 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,如图11红色虚线所示,基准数据中未有恐惧情绪产生的12名受试对象均能被正确识别(表2),而基准数据中有恐惧情绪产生的16名受试对象

表 2 受试对象血液灌注特征量及恐惧情绪识别结果列表

Table 2 Features of the blood perfusion and results of the fearful emotion recognition for all subjects

对象编号	年龄/性别	斜率 $K(\times 10^{-2})$	置信度 $R^2(\%)$	均值 $\bar{x}$	标准偏差 $Stdev$	恐惧情绪 识别结果	恐惧程度 自评分 $C$	情绪量 表分数
1#	22/m	-1.91	98.01	5.01	0.557	+	2	73
2#	21/m	-0.22	21.28	5.76	0.139	-	1	78
3#	21/m	0.28	46.47	4.38	0.118	-	1	61
4#	25/f	-0.67	70.25	5.45	0.228	+	2	67
5#	23/f	-0.02	1.25	5.03	0.088	-	1	72
6#	25/f	-0.39	83.06	4.07	0.124	-	2	68
7#	23/f	-0.22	28.54	4.44	0.117	-	2	62
8#	22/m	0.1	2.85	6.37	0.168	+	2	52
9#	22/f	-1.05	88.73	4.69	0.154	+	2	65
10#	42/f	-0.01	2.89	4.43	0.024	-	1	60
11#	23/m	-0.29	50.44	7.04	0.117	-	1	53
12#	24/f	-0.2	28.09	4.44	0.111	-	3	57
13#	25/f	-0.47	39.82	5.25	0.214	+	4	64
14#	24/m	-0.64	74.67	4.05	0.215	+	3	52
15#	21/f	-1.13	88.41	5.67	0.325	+	4	68
16#	22/m	0.15	13.53	6.68	0.12	-	1	65
17#	22/f	-0.64	80.65	5.52	0.207	+	3	57
18#	24/m	-0.29	41.22	6.72	0.129	-	0	62
19#	23/f	0.19	33.23	5.47	0.095	-	1	67
20#	24/m	-1.82	96.48	4.63	0.535	+	3	74
21#	24/m	-0.17	24.60	5.17	0.097	-	2	64
22#	25/f	-0.05	2.29	5.41	0.094	-	1	69
23#	27/m	-1.06	95.46	4.18	0.313	+	2	74
24#	23/m	0.24	23.78	5.56	0.140	-	1	56
25#	24/m	-1.6	93.88	3.49	0.477	+	2	51
26#	25/f	0.04	0.22	5.69	0.221	+	4	66
27#	23/m	-0.3	38.03	5.79	0.140	-	0	72
28#	25/f	-0.19	40.67	5.32	0.085	-	1	73

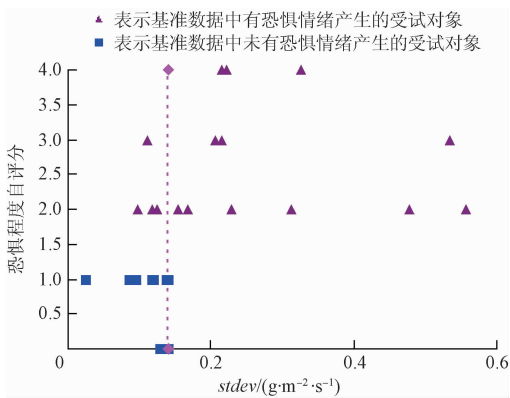


图 11 标准偏差  $stdev$  与恐惧程度自评分之间的关系  
Fig. 11 Relationship between the standard deviation  $stdev$  and the self-assessment score of the fearful emotion

中,也有 12 名能被正确识别。对所有的 28 名受试对象,正确识别率能达到 85.7%,具有较高的准确性。

### 4 结 论

本文提出了一种基于面部红外热图的方法,对恐惧情绪进行识别,构建了以 RT513 红外热像仪和计算机为主要装置的红外热图采集平台;采用最小二乘拟合方法,对现有的传热模型进行简化,将红外热图转换为明显、直观的血灌注伪彩色图,进而选取了受试者前额区域作为感兴趣区域,获取了血液灌注曲线图,并提取了均值、标准偏差、斜率等相关特征量。结果表明,1)当受试对象产生恐惧情绪时,其前额区域的血液灌注值大多呈下降趋势,这与已有的文献研究结论一致<sup>[10-11]</sup>;2)血液灌注值的标准偏差可以作为恐惧情绪识别的主要特征(阈值  $0.14 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )。在本文 28 例测试中,恐惧情绪的识别准确率达到 85.7% (以恐惧自评结果为基准数据),具有较高的可靠性。

与传统的基于脑电、肌电等生理信号的情绪识别方

法相比,本文所提出基于红外热图的恐惧情绪识别方法具有非接触、非侵入的优点,有可能成为机器人情绪感知系统的组成部分之一。当然,本文所提出的方法的不足之处在于选取前额 ROI 时仍采用手动方式,ROI 的自动选取将是下一步的工作目标。

## 参考文献

- [ 1 ] OKON-SINGER H, MEHNERT J, HOYER J, et al. Neural control of vascular reactions: Impact of emotion and attention [ J ]. *Journal of Neuroscience*, 2014, 34(12):4251-4259.
- [ 2 ] ZOURIDAKIS G, PATIDAR U, PADHYE N S, et al. Spectral power of brain activity associated with emotion: A pilot MEG study [ C ]. *Ibmbe Proceedings*, 2009, 28: 354-357.
- [ 3 ] KIM J, ANDRÉ E. Emotion recognition based on physiological changes in music listening [ J ]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, 2008, 30(12):2067-2083.
- [ 4 ] 陈继华, 李岚, 钱坤喜. 基于多生理信号的情绪初步识别 [ J ]. *生物医学工程研究*, 2006, 25 ( 3 ): 141-146.  
CHEN J H, LI L, QIAN K X. Emotion recognition by physiological signals [ J ]. *Journal of Biomedical Engineering Research*, 2006, 25(3): 141-146.
- [ 5 ] VERMA G K, TIWARY U S. Multimodal fusion framework: A multiresolution approach for emotion classification and recognition from physiological signals [ J ]. *Neuroimage*, 2013, 102(1): 162-172.
- [ 6 ] 陈学军, 杨永明. 一种基于双波段红外视频火灾探测器的研制 [ J ]. *电子测量与仪器学报*, 2016, 30(3): 473-479.  
CHEN X J, YANG Y M. Realization of dual-band fire detector based on infrared video [ J ]. *Journal of Electronic Measurement and Instrumentation*, 2016, 30 ( 3 ): 473-479.
- [ 7 ] 王英, 刘志刚, 母秀清, 等. 升降弓电接触的接触线暂态热流建模与验证 [ J ]. *仪器仪表学报*, 2014, 35(12): 2663-2672.  
WANG Y, LIU ZH G, MU X Q, et al. Modeling and verification of contact line transient temperature difference based on lifting or lowering the pantograph electric contacts [ J ]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2014, 35 ( 12 ): 2663-2672.
- [ 8 ] 赵一中, 刘文波. 基于 ARM 和 FPGA 的红外热像仪系统设计与研究 [ J ]. *电子测量技术*, 2014, 37(10): 81-84.  
ZHAO Y ZH, LIU W B. System design and implementation of infrared thermal imaging instrument based on ARM and FPGA [ J ]. *Electronic Measurement Technology*, 2014, 37(10): 81-84.
- [ 9 ] PACKHAM T L, FOK D, FREDERIKSEN K. Reliability of infrared thermometric measurements of skin temperature in the hand [ J ]. *Journal of Hand Therapy*, 2012, 25(4): 358-362.
- [ 10 ] CHOI J S, BANG J W, HEO H, et al. Evaluation of fear using noninvasive measurement of multimodal sensors [ J ]. *Sensors*, 2015, 15(7):17507-17533.
- [ 11 ] GIACINTO A D, BRUNETTI M, SEPEDE G, et al. Thermal signature of fearful emotion conditioning in mild post traumatic stress disorder [ J ]. *Neuroscience*, 2014, 266(8): 216-223.
- [ 12 ] 赵鑫, 史娜, 付丽, 等. 情绪识别与认知重评对社会适应不良的预测研究 [ J ]. *中国临床心理学杂志*, 2013, 21(6): 1029-1032.  
ZHAO X, SHI N, FU L, et al. Emotion recognition and cognitive reappraisal predict social maladjustment [ J ]. *Chinese Journal of Clinical Psychology*, 2013, 21 ( 6 ): 1029-1032.
- [ 13 ] 靳霄, 邓光辉, 经旻, 等. 视频材料诱发情绪的效果评价 [ J ]. *心理学探新*, 2009, 29(6): 83-87.
- [ 14 ] JIN X, DENG G H, JING M, et al. The evaluation of emotion elicitation effect of videos [ J ]. *Physiological exploration*, 2009, 29(6): 83-87.
- [ 15 ] KRZYWICKI A T, O' KANE B L. Analysis of facial thermal variations in response to emotion: eliciting film clips [ J ]. *Proceedings of SPIE*, 2009, 7343(12): 1-11.
- [ 16 ] CHARKOUDIAN N. Mechanisms and modifiers of reflex induced cutaneous vasodilation and vasoconstriction in humans [ J ]. *Journal of Applied Physiology*, 2010, 109(4): 1221-1228.
- [ 17 ] WU S, LIN W, XIE S. Skin heat transfer model of facial thermograms and its application in face recognition [ J ]. *Pattern Recognition*, 2008, 41(8): 2718-2729.
- [ 18 ] WANG X, HU R, WANG R. A method to quickly test the emissivity with an infrared thermal imaging system within a small distance [ C ]. *Applied Optics and Photonics China, International Society for Optics and Photonics*, 2015.
- [ 19 ] HAUKE J, KOSSOWSKI T. Comparison of values of pearson's and spearman's correlation coefficients on the same sets of data [ J ]. *Quaestiones Geographicae*, 2015, 30(2): 87-93.

## 作者简介



刘小燕, 1973 年出生, 湖南大学电气与信息工程学院教授, 博士生导师, 主要研究方向为图像处理、复杂过程建模与控制。

E-mail: xiaoyan.liu@hnu.edu.cn

Liu Xiaoyan was born in 1973, professor and Ph. D. supervisor in College of Electrical and Information Engineering, Hunan University. Her main research direction is image processing, and modeling and control

of complex processes.



郭群, 1991 年出生, 湖南大学研究生在读。目前主要研究方向为红外图像处理与分析、情绪识别。

E-mail: 350636034@qq.com

Guo Qun was born in 1991, M. Sc. candidate in Hunan University. Her main research direction is infrared image processing and analysis, and emotion recognition.

## 是德科技应用 Qualcomm™ LTE 物联网调制解调器, 推动物联网技术加速部署

器件制造商可以验证其设计是否符合北美运营商的 Cat M1 测试计划, 并深入优化 NB-IoT 产品设计

### 新闻要点:

- KeysightAnite SAS 互操作性测试解决方案现在支持 Cat M1 测试计划, 该计划由北美运营商负责验证
- 是德科技首款用于验证 NB-IoT 器件连通性的无线台式测试仪

是德科技 (NYSE:KEYS) 日前宣布新的计划, 旨在协助加快物联网 (IoT) 技术的部署。物联网投入实际部署后, 预计将使日常应用 (例如智能家居、互联汽车、医疗保健和智能城市等) 以及工业应用 (能源系统、农业和交通运输等) 中的数十亿器件互联在一起。

器件制造商现在可以使用 KeysightAnite SAS 互操作性测试解决方案 (SAS) 来验证其 Cat M1 产品是否符合北美运营商的 Cat M1 测试计划。运营商首先使用领先的运营商验收解决方案 SAS, 以及配备高通 MDM9206 LTE 物联网调制解调器的器件成功完成了测试案例的实施, 然后对测试计划进行了验证。Cat M1 是一种以应用于物联网的 LTE 制式, 在 1.4 MHz 频谱上提供 300 kbps 至 400 kbps 的数据传输速率。

是德科技帮助设计人员在实验室中使用 Keysight UXM 仿真真实环境, 以便优化物联网设计, 增强其关键性能, 如功耗、射频性能和互操作性。UXM 是是德科技首款用于验证与符合 NB-IoT 标准的器件的连通性的无线测试仪。NB-IoT 是一种标准的低功耗广域通信技术, 支持各种新型物联网器件和服务。

是德科技芯片组移动测试部门高级总监 Giampaolo Tardiolo 表示: “是德科技使用高通科技的 LTE 物联网调制解调器为 Cat M1 和 NB-IoT 技术提供支持, 这为物联网行业带来了领先的设计和测试解决方案, 帮助客户更快将可靠的物联网器件推向市场。”

关于 Keysight UXM 无线测试仪的更多信息, 请访问 [www.keysight.com/find/UXM](http://www.keysight.com/find/UXM)。高分辨率图像请见 [www.keysight.com/find/UXM\\_images](http://www.keysight.com/find/UXM_images) 获得。YouTube 上提供了展示 UXM 丰富功能的视频。请访问 [www.keysight.com/find/contactus](http://www.keysight.com/find/contactus) 与是德科技取得联系, 了解 E7515A UXM 的价格和交付信息。

### 是德科技无线解决方案

从 WLAN 到 LTE-Advanced 以及最新的 5G 技术, 是德科技专注于提供最丰富的解决方案选择, 帮助客户解决业界最棘手的设计与测试问题。借助是德科技最先进的电子测量解决方案以及功能强大的台式和模块化硬件与软件, 工程师能够获得更深入的设计与测试洞察, 覆盖从仿真到研发、从验证到制造以及从一致性测试到部署的整个流程。专家工程师深厚的蜂窝与 WLAN 标准制定经验, 加上全球数以百计的应用工程师, 是德科技能够凭借精湛的技术与经验帮助客户应对挑战。如需了解更多信息, 请访问 [www.keysight.com/find/UXM](http://www.keysight.com/find/UXM) 和 [www.keysight.com/find/cellular](http://www.keysight.com/find/cellular)。如欲浏览包括应用指南、CD 和其他丰富资料的知识库, 请访问 [www.keysight.com/find/lte-a-insight](http://www.keysight.com/find/lte-a-insight)。

### 关于是德科技

是德科技 (NYSE:KEYS) 帮助客户将具有突破性的电子产品和系统以更低的成本更快推向市场。从设计到仿真, 再到原型设计验证、生产测试以及网络中的优化, 是德科技提供全方位的电子信号测试与分析解决方案。我们的客户遍及全球通信、互联网基础设施、航空航天与国防、汽车、半导体和通用电子终端市场。2016 财年, 是德科技收入达 29 亿美元。更多信息, 请访问 [www.keysight.com](http://www.keysight.com)。