

一种多维度的医疗红外热图质量评价方法及改进策略*

唐广发¹ 李彩云² 招晶晶² 许晓安³ 卢子忱¹

(1.中国科学院云计算产业技术创新与育成中心, 广东 东莞 523000

2.东莞市中医院, 广东 东莞 523000 3.广东技术师范大学, 广东 广州 510665)

摘要: 针对医疗红外热图存在噪声、图像特性缺陷、专业度缺陷等问题, 提出一种多维度的医疗红外热图质量评价方法及改进策略。经实验验证: 医疗红外热图的质量指标得到有效量化, 且以此量化指标提出的改进策略能满足数据质量智能筛选的需求。

关键词: 红外热图; 图像质量评价; 改进策略; 图像处理

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1674-2605(2021)05-0010-06

DOI: 10.3969/j.issn.1674-2605.2021.05.010

0 引言

人体由于结构、组织代谢、血液循环等不同, 导致各部位的温度也不同。医疗红外热图是利用医学、红外摄像和计算机等技术, 经图像处理, 以伪彩色热图形式显示人体温度场分布的一种医疗图像。医疗图像是医疗大数据平台数据源的重要组成部分。据统计, 超过 90% 的医疗数据来自医学影像^[1]。因此, 研究高效、安全、可控的医疗图像质量评价方法意义重大。

目前, 医疗红外热图的质量评价方法主要分为主观评价和客观评价。常用的主观评价方法有均值意见评分法(mean opinion score, MOS)和国际标准 Method for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures Recommended by CCIR500^[2], 主要依靠人眼进行主观判断, 评价过程耗时长, 受自身素质、情绪和测试环境影响较大, 且成本高。客观评价方法的核心思想是计算与标准图像的差异, 但使用广泛且针对医疗特殊性质的方法较少且效果差。

本文根据医疗红外热图的特性, 提出一种通过多个主客观维度评价医疗红外热图的方法及可动态调整指标权重的图像数据集质量改进策略。

1 医疗红外热图质量缺陷

1.1 噪声

1.1.1 随机噪声

随机噪声是一种由时间上随机产生的大量起伏骚扰积累而造成的, 其值在给定瞬间内不能预测的噪声。在任何时候, 其幅度、相位及波形都是随机的^[3]。红外热图随机噪声主要由红外成像系统的工作环境干扰产生, 包括热噪声、有色噪声、温度起伏噪声等。

1.1.2 固有噪声

固有噪声主要由红外成像系统内部产生, 并随着系统的变化而变化^[3], 主要包括背景噪声、探测器噪声、电路噪声、电荷噪声、光子噪声、A/D 转换噪声等。

1.2 图像特性缺陷

对于医疗红外热图图像特性缺陷, 本文主要分析图像对比度和图像二维熵的异常。

图像对比度是指一幅图像中明暗区域最亮的白和最暗的黑之间不同亮度层级的测量值, 即一幅图像灰度反差的大小^[4]。当医疗红外热图的目标与背景的红外辐射亮度差值越大时, 其对比度越大。

图像二维熵是反映图像灰度分布的空间特征^[5], 可理解为反映图像像素位置的灰度信息与其邻域灰度分布的综合特征。

医疗红外热图对比度缺陷产生的主要原因包括目标形态、红外辐射特性、环境条件和红外探测器性能等。具体来说, 成像视野内所有物体的发射率和表面温度, 环境温湿度以及红外探测器辐射亮度性能等,

* 基金项目: 国家重点研发计划重点专项项目(2018YFC1311900); 东莞市社会科技发展重点项目(2020507102159)。

都会使目标辐射亮度和背景辐射亮度产生偏差,从而导致对比度和二维熵的不同。

1.3 专业度缺陷

医疗红外热图专业度可分为垂直投影特性和人体占比范围。其背景的灰度值为低温色彩对应的色标灰度值,而人体区域的灰度值为高温色彩对应的色标灰度值。对医疗红外热图进行垂直灰度投影,会呈近似正态分布,形成两边低中间高的灰度投影特性。另外,医疗红外热图中人体占比一般在一个合理区间范围内。医疗红外热图中没有人体,或出现其他异物背景杂乱,或诊室温湿度失衡,或成像数据出错等因素,都可能导致医疗红外热图专业度缺陷。

2 医疗红外热图评价方法

2.1 噪声评价

本文通过均方根误差 (mean squared error, MSE) 和峰值信噪比 (peak signal-to-noise ratio, PSNR) 来评价医疗红外热图的质量。

MSE 是参数估计值与参考值之差平方的期望值,可评价红外热图变化程度。MSE 越小,说明数据具有较好的精确度^[6]。

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m (y_i - y_p)^2 \quad (1)$$

式中, n 为样本个数; y_i 为实际像素值; y_p 为参考值。

PSNR 用于衡量图像失真或噪声水平,其值越大,图像质量越好^[5]。

$$PSNR = 10 \times \lg \left(\frac{MAX^2}{MSE} \right) \quad (2)$$

式中, MAX 为图像最大像素值; MSE 由式(1)求得。

本文数据集采用东莞市中医院采集的红外热图,共 1 500 例,分辨率为 $1\ 277 \times 793$ 。利用式(1)和式(2)对此数据集的 MSE 和 $PSNR$ 进行计算,最后取 MSE 评价阈值为 280, $PSNR$ 为 32。

2.2 图像特性评价

医疗红外热图对比度计算公式为

$$G_{\text{contrast}}(x, y) = \frac{|L_m(x, y) - L_M|}{L_m(x, y) + L_M} \quad (3)$$

式中, $L_m(x, y)$ 为医疗红外热图中单个像素点坐标 (x, y) 的 5×5 领域的平均值亮度; L_M 为整幅医疗红外热图的平均亮度值。

图像二维熵的计算方法:选择医疗红外热图每个像素点对应邻域灰度均值作为灰度分布的空间特征量,并与医疗红外热图的像素灰度组成二维特征,记为 (g, n) ,其中 g 表示医疗红外热图像素的灰度值 ($0 \leq g \leq 255$), n 表示邻域灰度均值 ($0 \leq n \leq 255$):

$$P = f(g, n) / D^2 \quad (4)$$

式中, $f(g, n)$ 为二维特征 (g, n) 出现的频数; D 为医疗红外热图尺度。

本文提出一种基于支持向量机 (support vector machine, SVM) 的图像质量分类器。支持向量机是一种应用于分类与回归分析的有监督式机器学习算法^[7],质量分类流程如图 1 所示。

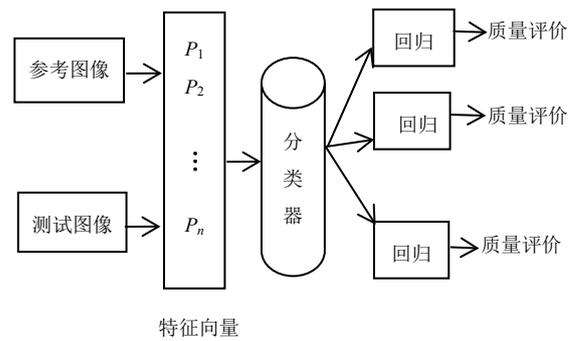


图 1 SVM 红外图像质量分类流程

提取医疗红外热图对比度、二维熵、边缘锐度和噪声 4 个特征信息作为支持向量机的输入 $P = \{P_1, P_2, P_3, P_4\}$, 输出为差异主观评分值 (different mean opinion score, DMOS) 的 4 个等级 $O = \{O_1, O_2, O_3, O_4\}$ 。DMOS 值越小代表图像质量越高, DMOS 评分表如表 1 所示。

表1 医疗红外热图 DMOS 评分表

DMOS 值域	图像等级	主观评价
[75, 100]	4	差
[50, 75)	3	一般
[25, 50)	2	好
[0, 25)	1	非常好

2.3 专业度评价

灰度投影法是利用图像灰度分布变化的特点得到图像帧间运动矢量^[8]。医疗红外热图垂直平均积分灰度投影定义为

$$M_v(x) = \frac{1}{y_2 - y_1} \sum_{y=y_1}^{y_2} f(x, y) \quad (5)$$

式中, $f(x, y)$ 为像素点 (x, y) 的灰度值。

连通区域是指图像中具有相同像素值且位置相邻的前景像素点组成的图像区域。连通区域分析是指将图像中的各个连通区域找出并标记^[9]。连通区域的人体占比可作为医疗红外热图质量评价的指标之一。本文对医疗红外热图的连通区域占比范围进行统计, 结果如表 2 所示。

表2 医疗红外热图的连通区域占比范围

分类	占比
上半身	[22.2%, 32.8%]
右半全身	[7.5%, 16.7%]
全身	[7.8%, 21%]
左半全身	[7.5%, 16.7%]

3 数据改进策略

高质量的医疗红外热图数据集是保证诊断准确的关键因素。借助医疗红外热图的多种评价指标, 提出一种指标对比矩阵法数据改进策略, 具体步骤如下:

1) 对图像噪声、DMOS 和医疗红外热图专业度等指

标进行两两比较, 形成判断矩阵, 判断矩阵依赖用户对每个指标的重要性打分, 最终取每个指标打分的平均值, $A_{ij} = 1$ 表示元素 i 与元素 j 同样重要; $A_{ij} = 3$ 表示元素 i 比元素 j 稍微重要; $A_{ij} = 5$ 表示元素 i 比元素 j 重要; $A_{ij} = 7$ 表示元素 i 比元素 j 重要很多; $A_{ij} = 9$ 表示元素 i 比元素 j 极其重要; 2) 计算判断矩阵每一列的和, 并对判断矩阵的每一列进行归一化处理, 公式为

$$B_{ij} = \frac{A_{ij}}{\sum A_{ij}} \quad (6)$$

式中, $\sum A_{ij}$ 为判断矩阵各列的和; B_{ij} 为判断矩阵各列的元素除以判断矩阵各列的和得到一个新的矩阵 B 。

矩阵 B 每一行的和即为矩阵特征向量; 对特征向量进行归一化处理, 公式为

$$W_j = \frac{B_{ij}}{\sum B_{ij}} \quad (7)$$

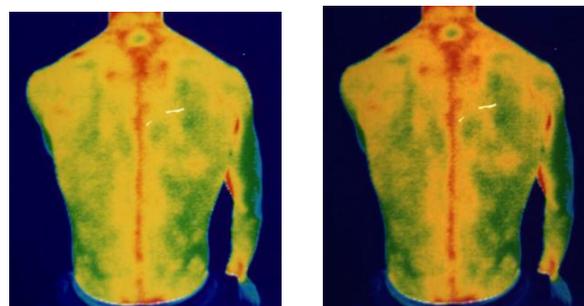
W_j 为每个指标的权重, 以此作为医疗红外热图数据改进策略的参考指标。

4 实验分析

为验证本文提出的医疗红外热图质量评价方法的准确性, 对 1 500 例医疗红外热图数据分别进行噪声、图像特性、专业度评价实验。

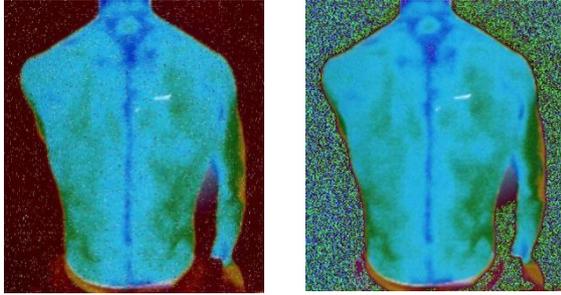
4.1 噪声评价实验

医疗红外热图部分噪声实例如图 2 和表 3 所示。



(a) 标准红外热图

(b) 图像增强处理



(c) 椒盐噪声 (d) 高斯噪声

图 2 医疗红外热图噪声实例

表 3 噪声评价表

图像	MSE	PSNR
图 2(b)	124.8	27.17
图 2(c)	998.0	18.13
图 2(d)	5 736.0	10.54

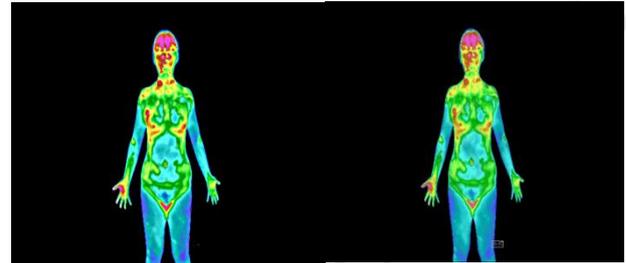
图 2(b)为经过图像增强处理的医疗红外热图, MSE 为 124.8, $PSNR$ 为 27.17; 图 2(c)为加入轻微的椒盐噪声的医疗红外热图, MSE 为 998.0, $PSNR$ 为 18.13; 图 2(d)为加入重度的高斯噪声的医疗红外热图, MSE 为 5 736.0, $PSNR$ 为 10.54。由此可知: 图像噪声越大, MSE 越大, $PSNR$ 越小。因此, 可根据用户自定义标准拟定 MSE 和 $PSNR$ 的阈值作为评价医疗红外热图质量的指标之一。

4.2 图像特性评价实验

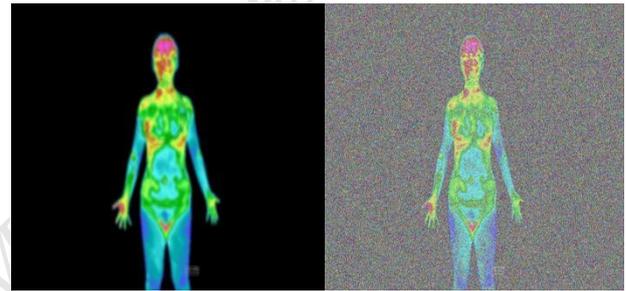
选取医疗红外热图正样本 274 张, 椒盐噪声医疗红外热图 127 张, 高斯模糊医疗红外热图 233 张; RGB 通道值随机打乱医疗红外热图 224 张, 并为每张热图标记 DMOS 值。图 3 列举了 4 个 DMOS 图像等级的示例: 图 3(a)为经图像增强算法处理的优质医疗红外热图, 标记图像等级为 1; 图 3(b)为标准医疗红外热图原图, 标记图像等级为 2; 图 3(c)为分辨率低、较模糊的医疗红外热图, 标记图像等级为 3, 图 3(d)为带有严重椒盐噪声的医疗红外热图, 标记图像等级为 4。

医疗红外热图质量回归预测模型训练采用 SVM 软件 LIBSVM 工具^[10]。SVM 分类器训练效果图如图 4 所示, 不同形状的标识代表不同噪声以及不同

DMOS 值的数据, 曲线为 SVM 分类器的分类表现。假设把图 4 中数据集看成离散点集, SVM 的分类表现基本贴合离散点集的拟合曲线路径, 其评价效果与主观感受大体吻合。SVM 分类器的训练准确率和测试准确率如表 4 所示。



(a) DMOS = 12, 图像等级 1 (b) DMOS = 38, 图像等级 2



(c) DMOS = 62, 图像等级 3 (d) DMOS = 83, 图像等级 4

图 3 DMOS 评分示例

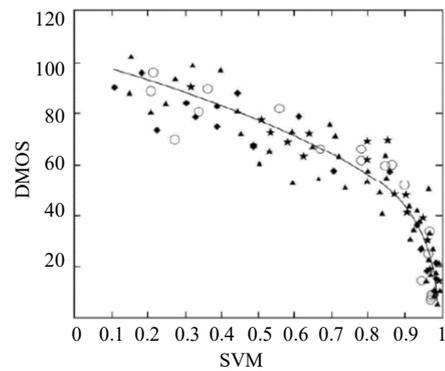


图 4 SVM 分类器训练效果图

表 4 训练与测试准确率

图像质量类别	训练准确率	测试准确率
1	0.953	0.961
2	0.892	0.905
3	0.963	0.977
4	0.986	0.903

由表 4 可知，此方法能较好地对医疗红外热图质量进行分类。

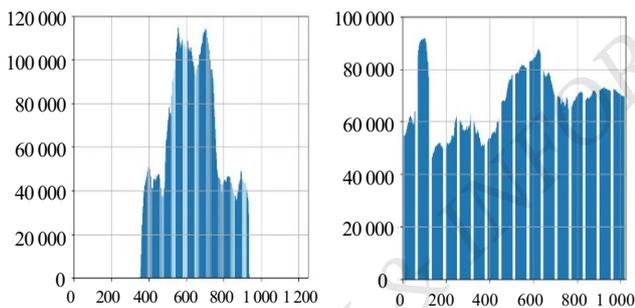
4.3 专业度评价实验

图 5(c)、图 5(d)分别为图 5(a)、图 5(b)的垂直灰度投影。对比图 5(c)、图 5(d)可以看出：目标医疗红外热图的垂直灰度投影分布呈近似正态分布，中间位置拥有较高的灰度值，两端灰度值较低；干扰图像的垂直灰度投影分布较为平均。



(a) 目标图像

(b) 干扰图像



(c) 目标图像灰度投影

(d) 干扰图像灰度投影

图 5 灰度垂直投影实验结果

部分医疗红外热图目标区域的前景提取效果图如图 6 所示。从人体不同角度拍摄的医疗红外热图对应的前景连通区域占比范围如表 5 所示。



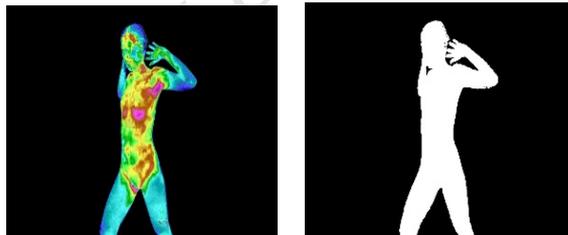
(a) 上半身前景连通区域提取图



(b) 右半全身前景连通区域提取图



(c) 正面全身前景连通区域提取图



(d) 左半全身前景连通区域提取图



(e) 右半全身噪声缺陷热图前景连通区域提取图

图 6 前景连通区域提取实验结果

表 5 本文方法的医疗红外热图占比范围

分类	占比/%
上半身	27.8
右半全身	12.2
正面全身	13.7
左半全身	14.5
右半全身噪声缺陷热图	39.8

由表 5 可知, 各分类占比值满足表 2 医疗红外热图的连通区域占比范围。

5 结论

本文分别从噪声、图像特性、专业度 3 个维度对医疗红外热图进行质量评价, 并给出数据改进策略。经实验验证, 此方法有效可行, 为医疗红外热图质量评价以及数据改进提供参考依据。

参考文献

- [1] 涂仕奎, 杨杰, 连勇, 等. 关于智能医疗研究与发展的思考[J]. 科学, 2017, 69(3): 9-11.
- [2] Narita N. Method for the subjective assessment of the quality of television picture.[J]. CCIR Recommended 500. Terebijon Gakkaishi (Journal of the Institute of Television Engineers of Japan), 1993, 47(7): 979-982.
- [3] 郑欣. 红外图像无参考图评价方法及应用研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2015.
- [4] 刘扬东, 王璐, 李栋. 针对检疫物的 CT 图像着色和自动识别方法研究[J]. 自动化与信息工程, 2019, 40(2): 20-24.
- [5] 于虹, 甄彤. 图像去噪经典算法研究[J]. 信息与电脑(理论版), 2020, 32(14): 66-67.
- [6] 马悦. 基于深度学习的低照度图像增强方法[J]. 信息技术, 2021(1): 85-89.
- [7] GUO Yinan, ZHANG Zirui, TANG Fengzhen. Feature selection with kernelized multi-class support vector machine[J]. Pattern Recognition, 2021, 117(5324): 107988.
- [8] 汪启伟. 图像直方图特征及其应用研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2014.
- [9] 马敬奇, 卢亚, 李柳琼, 等. 基于 Canny 算子和改进型 Hough 变换的边缘定位方法[J]. 自动化与信息工程, 2017, 38(3): 32-36.
- [10] 颜伟超. 基于 LIBSVM 的简单图形识别研究与实现[J]. 电子技术, 2020, 49(1): 44-46.

A Multi-dimensional Quality Evaluation Method of Medical Infrared Image and Its Improvement Strategy

Tang Guangfa¹ Li Caiyun² Zhao Jingjing² Xu Xiaohan³ Lu Zichen¹

(1. Cloud Computing Center Chinese Academy of Sciences, Dongguan 523000, China

2. Chinese Medicine Hospital of Dongguan, Dongguan 523000, China

3. Guangdong Polytechnic Normal University, Dongguan 510665, China)

Abstract: Aiming at the problems of noise, image characteristic defects and professional defects in medical infrared image, a multi-dimensional quality evaluation method of medical infrared image and its improvement strategy are proposed. The experimental results show that the quality index of medical infrared image has been effectively quantified, and the improvement strategy proposed based on this quantitative index can meet the needs of intelligent screening of data quality.

Key words: infrared image; image quality evaluate; improvement strategy; image processing

作者简介:

唐广发, 男, 1988 年生, 硕士研究生, 工程师, 主要研究方向: 人工智能与机器视觉。

李彩云, 女, 1978 年生, 本科, 副主任医师, 主要研究方向: 耳鼻喉临床医学。

招晶晶, 女, 1984 年生, 本科, 中医师, 主要研究方向: 红外临床医学。

许晓安, 男, 1974 年生, 硕士研究生, 副教授, 主要研究方向: 计算机应用。

卢子忱(通信作者), 男, 1969 年生, 硕士研究生, 高级工程师, 主要研究方向: 红外医学与大数据。E-mail: luzichen@casc.ac.cn