

文章编号: 1672-8785(2011)06-0028-06

医学红外热像中的伪彩色显示技术

黄 博 李子孺

(华南师范大学信息光电子科技学院, 广东 广州 510631)

摘 要: 医用红外热像技术在现代医学和中医学中都有着重要应用。为了更直观、有效地反映人体的生理病理信息, 对现有红外热像中的色标伪彩色序列进行了改进。设计了一种新的颜色路径。在新色标中, RGB 的 3 个分量由 13 段线性函数表示。其中, R 分量可在图像处理中用于低温背景与人体边缘的检测, G 分量便于对图像中人体的高、低温异常信息进行观察分析。该新色标不但适合观察局部的病灶区域, 而且便于整体观察人体温度分布的平衡性, 有助于对人体红外热像进行观测和分析。

关键词: 医用红外热像仪; 伪彩色; 色标; RGB 分量

中图分类号: TN911.73 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2011.06.007

Analysis of Pseudo-color in Medical Infrared Thermal Images

HUANG Bo, LI Zi-ru

(School of Information and Optoelectronic Science and Engineering,
South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

Abstract: The medical infrared thermal imaging technology has important applications in both modern medicine and traditional Chinese medicine. To make the physiopathological information of a human body displayed more visually and effectively in an infrared thermal image, the pseudo-color sequence of the color bar in common infrared thermal images is improved and a new color path is designed. In the new color bar, the three components RGB are represented by 13 linear functions. The component R is used to detect the low temperature background and the body edge in image processing. The component G is used to analyze the abnormal high and low temperature areas in the image. The new color bar is not only suitable for the viewing of local focus areas, but also convenient for the whole viewing of the balance of human body temperature distribution. It is helpful to the viewing and analysis of infrared thermal images of a human body.

Key words: medical infrared thermal images; pseudo-color; color bar; RGB components

0 引言

通过接收人体自然发出的热辐射而成像的医用红外热像技术, 是一种非侵入、检查迅速、

无电离辐射、对人体没有任何伤害的医学影像技术。该技术属于功能成像技术, 它通过将体表的温度分布进行成像来反映人体的生理病理信息, 在现代医学和中医学中都有着重要应用。

收稿日期: 2011-04-12

基金项目: 国家重点基础研究“973”计划项目(2006CB504505); 广东省中医药局“建设中医药强省科研”项目(2009285)

作者简介: 黄博(1985-), 男, 湖北汉川人, 硕士研究生, 主要研究方向为医用红外热像分析与处理。

E-mail: hotgolden@163.com

其中, 现代医学应用主要包括早期肿瘤 (尤其是乳腺癌)、血管疾病、皮肤病和神经系统疾病等的辅助诊断^[1-2]; 中医学应用目前主要包括针灸、经络和药性的现象观察以及药效评估等方面^[3-5]。

利用伪彩色技术可提高人眼对红外图像中不同温度的分辨能力, 从而达到图像增强的效果。根据人体体表温度的特点和医学应用要求设计医用红外热像伪彩色色标, 可达到可直观、有效地反映人体生理病理信息的目的^[6-7]。

本文分析了红外图像伪彩色显示技术中的颜色与人眼分辨能力的特点, 并对现有红外热像的伪彩色色标进行了改进, 设计出了一种新的色标。该色标在人体的高低温范围内均有对应的丰富颜色, 不但适合观察局部的病灶区域, 而且便于整体观察人体温度分布的平衡性。在该新色标中, R 分量可在图像处理中用于低温背景与人体边缘的检测, G 分量便于对图像中的人体高低温异常信息进行观察分析, 有利于医生整体分析图像中的温度信息。

1 红外测温原理

自然界中的物体只要温度在绝对零度以上, 就会向外界辐射能量。人体体表会以连续光谱的形式不停地向外辐射能量。实验表明, 人体皮肤不论是黑色还是白色, 其发射率基本上没有太大差别, 约为 0.98, 接近于黑体。而且对于同一个体来说, 皮肤的发射率基本上是一个常数。维恩定律为

$$\lambda_{\max} = a/T \quad (1)$$

式中, $a = (2897.8 \pm 0.4) \text{ m} \cdot \text{K}$ 。人体体表的温度范围约为 $25 \sim 36 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 由式 (1) 可以得出其对应的热辐射峰值波长 $\lambda_{\max}$ 位于中红外波段, 约为 $9.4 \sim 9.9 \text{ }\mu\text{m}$ 。

红外热成像系统使用红外镜头接收人体体表的红外热辐射, 然后通过红外探测器将其转换为电信号, 并根据电信号和温度之间的关系算出温度, 从而得到一幅记录人体体表皮肤温度

分布的红外热图像。本试验所用的红外热像仪如下: (1) 北京贝亿医疗器械有限公司生产的热断层 (Thermal Texture Maps, TTM) 评估系统。该系统的型号为 TSI-21, 空间分辨率为 3 mrad , 温度分辨率为 $0.05 \text{ }^{\circ}\text{C}$; (2) NEC 公司生产的 AVIO TVS-200EX 红外热像仪。该热像仪的空间分辨率 $\leq 1.68 \text{ mrad}$, 温度分辨率为 $0.05 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。此外, 检测室的温度为 $20 \sim 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 湿度 $< 75 \%$ 。

2 红外图像伪彩色显示技术

2.1 伪彩色与温度值

绝大多数医学图像都是灰度图像, 如 X 线、CT、MRI、B 超图像等。对于观察者来说, 人眼只能辨别出一幅图像中的 $4 \sim 5 \text{ bit}$ 灰度级, 但却能辨别出近千种色彩。为了发挥人眼对色彩的分辨能力, 可用各种不同的颜色代表图像的不同灰度, 使灰度图像变为彩色图像, 从而提高人眼对图像的视觉感知能力。这样观察者便能从图像中获取更多的信息。这种伪彩色处理方法已广泛运用于图像显示领域, 如遥感图像处理、卫星图片以及生物医学图像等^[8]。

色彩增强是应用灰度级-彩色变换传递函数建立转换值对照表, 然后将一幅灰度图像映射成一幅彩色图像的。利用这种映射原理, 按照设定的温度值和色彩之间的转换关系, 便可将一幅温度值图像映射成彩色图像。用一幅彩色图像表示红外热图像的方法就是伪彩色显示方法^[9]。根据医用红外图像中各种色彩之间的视觉差异, 可以获得关于人体局部病灶区域或整体温度分布规律的信息。

2.2 色标的 RGB 颜色模型

根据人眼结构, 通常认为任何一种颜色都可看作是 3 种基本颜色 (红色 (R)、绿色 (G) 和蓝色 (B)) 的混合, 所以人们习惯于在 RGB 颜色空间中进行伪彩色编码^[10]。RGB 颜色模型基于笛卡尔坐标系统, 通常用图 1 所示的单位立方体表示。其中, 3 个轴分别为 R、G、B。在正方体的主对角线上, 各原色的量相等, 产生由暗至亮的白色, 即灰度。原点 (0,0,0) 对应于黑色, 离原点最远的顶点 (1,1,1) 对应于白色, 由黑至白的灰度值分布在从原点到离原点最远顶点

间的连线上。正方体的其它 6 个角上的点分别为红、黄、绿、青、蓝和紫色，其余各点对应于不同的颜色，所以由空间中的所有点组成的伪彩色图像会产生千差万别的颜色。如何选择坐标路径可决定医生能否从伪彩色图像中有效地分离出有用信息。

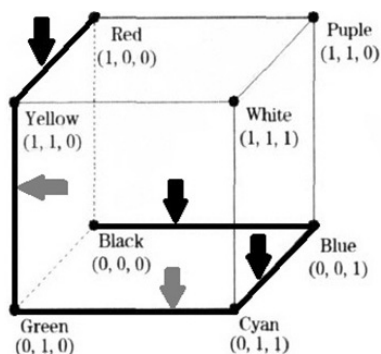


图 1 RGB 颜色立方体

2.3 常用色标及其改进

色标设计就是先在 RGB 颜色立方体中确定一条颜色路径，再从该颜色路径中选取指定数目的色彩组成彩色序列^[11]。图 1 中的粗黑线为医学图像伪彩色显示中通常采用的一条颜色路径。这条颜色路径上的颜色依次从黑色变化到蓝色、青色、绿色、黄色、红色。其中，红色表示高温，黑色表示低温。该颜色路径对应于传统的彩虹色标（见图 2(a)）。

人眼对可见光谱中不同波长的单色光的分辨能力有所不同。图 1 中深色箭头所表示的黑-蓝、蓝-青和黄-红等这些色段的相邻色彩之间视觉差异大，人眼可以分辨出来；而浅色箭头所表示的青-绿和绿-黄等这些色段的相邻色彩之间的视觉差异小，有些色彩人眼分辨不出

来。因此，由于人眼的视觉效应，同样的绝对温度值变化处在不同彩色区间时，将会有不同的显示效果。根据人眼对不同色段分辨能力的不同，在每个色段选取不同的色彩数目，使相邻色彩之间的视觉差异分布得比较均匀，可得到较好的显示效果^[9]。

目前，医用红外热图中显示效果较好的两种伪彩色色标为图 2(b) 所示热断层成像系统中使用的色标和图 2(c) 所示的高对比彩虹码色标。

高对比彩虹码色标的低温分辨能力优于 TTM 色标，但其高温部分的分辨能力较差。而 TTM 色标对高温部分比较敏感，其色标左端的颜色较为丰富，便于分辨，而代表中、低温的色标中部和右端的颜色相对比较单一，分辨能力较弱，故该色标便于高温病灶观察，例如人们对恶性肿瘤的诊断就是根据病变部位代谢活跃和温度上升确定的^[12-14]。但是当需要整体观察人体温度的平衡性时，如进行中医药疗效评价时，该色标则显不足。

在遵守色标设计相关原则的基础上，参考上述显示效果较优的两种色标，设计出了一种新色标，其 RGB 三个分量编码由 13 段线性函数表示。图 2(d) 所示为该新色标，它既适用于现代医学检测，又适用于中医学研究。由于中医学重视整体分析人体的平衡性，适用于中医学红外图像的色标必须在人体的高温和中低温区域都有良好的分辨能力。该新色标正好满足了这一要求。该色标在人体的高、低温范围内均有丰富的颜色相对应，不但适合观察局部的病灶区域，而且便于整体观察人体温度分布的平衡性。图 3 中的 4 幅图分别对应于图 2 中的 4 个色标，温度

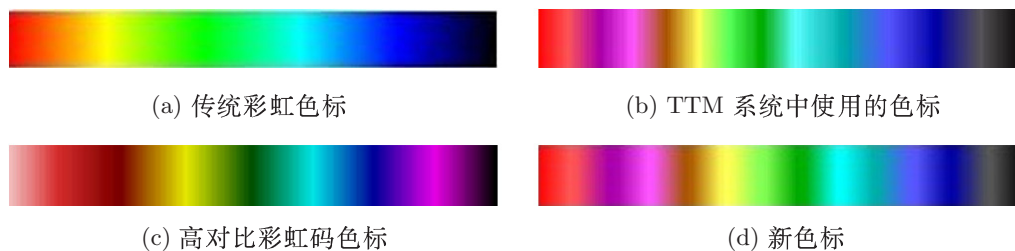


图 2 各种色标

范围为 $25.4 \sim 36.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。从对比效果来看, 传统彩虹色标的显示效果较差, TTM 色标在低温区域显示的层次感较差 (如绿色和青色所代表的脸部和手部), 高对比彩虹码色标的中段区域 (如黄

色代表的胸部) 层次感不强, 而本文所设计的新色标在高温区域 (如胸部) 和低温区域 (如手指和脸颊) 的显示层次比较分明, 各部位的细节较为明显。



(a) 传统彩虹色标显示



(b) TTM 色标显示



(c) 高对比彩虹码色标显示



(d) 新色标显示

图 3 同一温度分布图

3 伪彩色 RGB 分量的分析及探讨

用二维图来表示 13 段线性函数中各个分量值随温度等级的变化情况, 如图 4 所示。然后讨论各分量值在红外图像分析中的作用。

整段色标对应于 $25.4 \sim 36.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度范围,

系统的温度分辨率为 $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$, 即要用 221 个等级来表示。首先分析 R 分量的变化特点, 其在色标左段为高值, 而在右段则为低值, 前后两段的区别很明显。在从最左边的红色第 0 级到最右边的黑色第 221 级范围中, $0 \sim 107$ 级的 R 值都在 100 以上; $108 \sim 221$ 级的 R 值都在 100 以下。换

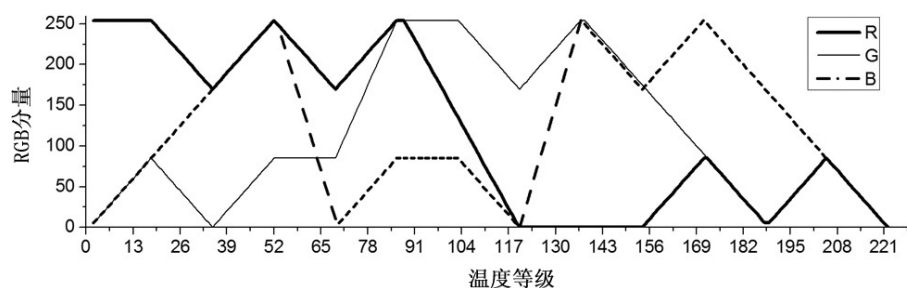
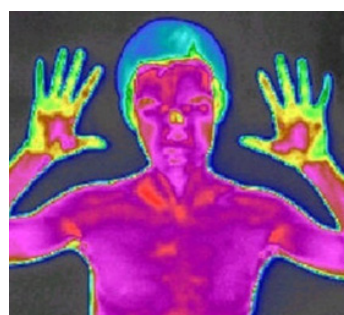


图 4 RGB 中的各分量值随温度等级的变化图

算成温度的话, $31.05 \sim 36.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的 R 值在 $100 \sim 255$ 范围内; $25.4 \sim 31\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的 R 值在 $0 \sim 100$ 范围内。因此, 从视觉角度来看, 人体躯干部分 (温度较高) 的图像应偏红, 而人体末梢部位 (温度低于躯干) 及背景部分的图像的红色成分应比较弱。另外, 当红外图像中的背景温度偏高, 影响到图像分析时, 可以采用 R 值提取轮廓, 去掉热像中的背景部分。根据人体体温的相关统计数据可知, 人体各部位的温度一般在 $31\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上^[15-16]。

一般情况下, 被试者所处的背景温度不会超过 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。选取一张有背景噪声的图像作为分析对象。根据 R 值的分布特性, 选取 100 作为阈值, 并将阈值以下的像素点设为 0, 得到一幅二值图像。然后将温度低于 $31\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的像素点去掉, 得到人体的大概轮廓图。从图 5(b) 中可以看出, 在人体末梢图像中, 手指、头发等部位有缺失。通过简单补偿, 可将人体从背景中完整提取出来。



(a) 有背景噪声的人体红外热像



(b) 去掉背景后的粗糙二值轮廓图



(c) 补偿后的完整二值轮廓图



(d) 去掉背景后的人体红外轮廓图

图 5 图像处理过程

下面分析 G 分量的特点。G 值在色标中段较高, 而在色标两端较低。利用 G 分量的这个特性, 可以设定一个 G 的阈值, 然后把该值以上

的像素点都去掉, 也就是把热图中的中间温度点去除, 留下的便是图像中低温部分和高温部分的信息。在观察医学热像时, 医生在同一时



(a) 高温区域



(b) 低温区域



(c) 同时显示高温和低温区域

图 6 人体热像图

刻只能关注到异常高温或低温区域, 往往会忽略对人体整体异常温度信息的观测。而利用 G 值的特点就能够在一幅图像中去掉中间相对正常的温度信息而只显示人体的异常低温和高温部位, 如图 6 所示。图像显示的高低温度信息具有针对性, 对医师判断病灶区域以及分析人体的整体温度平衡非常有利。

4 结果与讨论

图 7 所示为本文设计的新色标在三维空间显示 RGB 的色彩序列。与图 1 相比, 该图具有复杂的空间轨迹。当需要更丰富且容易分辨的色标时, 可以根据人眼对彩色的敏感特性, 把立方体中的色彩点充分利用起来。

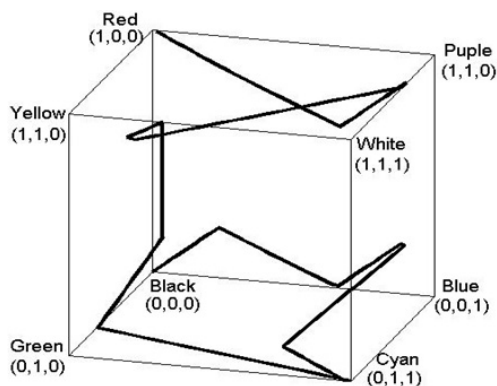


图 7 新色标 RGB 的空间伪彩色序列

红外热像技术在现代医学和中医学中都有着重要应用。现代医学对人体红外热像的观察, 注重局部病灶及其波及区域; 而中医学对人体红外热像的观察, 除了局部病灶外, 更注重的是人体整体的温度分布特征, 以获得人体的整体平衡信息。本文设计的新色标在人体的高、低温范围内均有对应的丰富颜色, 不但适合观察局部的病灶区域, 而且便于整体观察人体温度分布的平衡性。因此, 该色标既适用于现代医学检测, 又适用于中医学研究。利用该新色标中 R、G 分量的特性, 可以帮助医生从视觉角度上更好地分析图像特点, 从而快速、全面地获得人体温度分布的特征。

参考文献

- [1] Helmy A, Holdmann M, Rizkalla M. Application of Thermography for Noninvasive Diagnosis of Thyroid Gland Disease [J]. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2008, **55**(3): 1168–1175.
- [2] Meola C, Carlomagno G M. Recent Advances in the Use of Infrared Thermography [J]. *Measurement Science and Technology*, 2004, **15**(9): 27–58.
- [3] 许金森, 胡翔龙, 汪培清, 等. 人体体表循经红外辐射轨迹形成机理的初步探讨 [J]. *红外与毫米波学报*, 2003, **22**(3): 175–180.
- [4] Ziru L, Xusheng Z. Application Methods of Infrared Thermal Images in the Health Care Field of Traditional Chinese Medicine [C]. *SPIE*, 2008, **7280**: 72800V.
- [5] Ziru L, Xusheng Z. Application of Infrared Thermal Imaging in the Sleep Improvement Study [C]. *IEEE ICBBE*, 2009, 5162388.
- [6] Maoyong C. Computer Pseudo Color Equi-density Coding of Gray Image Based on Tri-primary Colors of RGB and Pixel's Self-transformations [C]. *SPIE*, 2001, **4551**: 266–269.
- [7] Dai J B, Zhou S X. Computer Aid Pseudo-coloring Coding of Gray Image-complementary Coloring Coding Technique [C]. *SPIE*, 1996, **2896**: 181–191.
- [8] 蓝春生, 蓝鹏, 曹煜媛. 医学图像的伪彩色处理 [J]. *中国体视学与图像分析*, 2002, **7**(3): 166–169.
- [9] 唐先武, 丁海曙, 腾轶超. 用于显示乳房局部病灶组织红外热图像的伪彩色方法 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2009, **29**(3): 611–615.
- [10] 李丽洁. 科学可视化中的伪彩色技术研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2006.
- [11] 张丽, 陈志强, 康克军, 等. 色彩调和理论在辐射成像的伪彩色处理中的应用 [J]. *核电子学与探测*, 2000, **20**(5): 233–235.
- [12] Zheng W, Hui H L, Lebanowski L, et al. A Basic Step toward Understanding Skin Surface Temperature Distributions Caused by Internal Heat Sources [J]. *Phys Med Biol*, 2007, **52**(17): 5379–5392.
- [13] 袁云娥, 王青, 宋三泰, 等. 乳腺肿块的热断层成像分析 [J]. *医学影像学杂志*, 2006, **16**(1): 7–10.
- [14] 王微, 赵春惠, 黄春, 等. 螺旋 CT、X 线胸片和热断层 (TTM) 对 SARS 诊断价值的评价 [J]. *现代科学仪器*, 2003, **20**(4): 17–20.
- [15] 炉庆洪, 杨洪钦, 陈丽, 等. 正常青年体表温度分布的红外热像分析 [J]. *中国生物医学工程学报*, 2007, **26**(4): 528–531.
- [16] Niu H H, Lui P W, Hu J S, et al. Thermal Symmetry of Skin Temperature: Normative Data of Normal Subjects [J]. *J Chin Med*, 2001, **64**(8): 459–468.