

改进颜色融合的医学图像彩色化技术*

华斌, 杨巍, 盛家川[†]

(天津财经大学理工学院, 天津 300200)

摘要: 彩色化后的医学图像能清晰体现患者病灶信息有利于医患沟通。提出改进颜色融合的医学图像彩色化方法, 首先利用基于KNN的图像前背景区分算法, 强化病灶区域的边界信息; 然后以此为约束条件, 只需提供简单的着色输入; 最后将边界能量引入颜色融合方法, 得到较好的着色结果。着色图像保持了原图的灰度信息不变, 增加了彩色标记图像的颜色和真实感。实验结果表明, 该算法具有较高的精确度, 可有效地应用于医学图像彩色化处理。

关键词: 医学图像处理; 颜色融合; 图像着色; 图层区分

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2016)05-1581-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2016.05.065

Medical image colorization based on improved color fusion

Hua Bin, Yang Wei, Sheng Jiachuan[†]

(School of Science & Technology, Tianjin University of Finance & Economics, Tianjin 300200, China)

Abstract: Coloring grey-level images has the advantage of highlighting the suspected regions, which helps with the communication between doctors and patients. This paper proposed a new medical image colorization approach via an improved color fusion scheme. Firstly, it used KNN-based foreground/background segmentation to strengthen the outline. Secondly, it annotated the image with only a few user specified color scribbles. Finally, introduced a color fusion algorithm to obtain a better color appearance for the medical image. The resulting image preserved the chromatic information of the source image and retained the original luminance of the colored image. In experiments, the algorithm has a high accuracy and the results demonstrate a good potential for practical applications of the proposed algorithm in the medical image processing.

Key words: medical image processing; color fusion; image colorization; layers distinction

在基于光学理论的医学图像中, 包含生理学信息的原始图像多数是灰度图像。虽然医生凭借专业知识可以分辨出灰度图中的病灶, 但患者一般很难读懂CT、X光、MRI等医学图像, 加之近些年来医患关系愈发紧张, 急需一种技术能够帮助医生和患者沟通。利用计算机给灰度医学图像彩色化, 能够帮助人们更有效地找到医学图像中有用的生理学信息, 特别是彩色化后的医学图像能够清晰体现患者病灶区域信息。

在现有的灰度生物学医学图像彩色化研究中, Zhao等人^[1]提出通过两幅图像之间进行颜色传递为灰度图像着色, 将一幅待着色的灰度图像作为目标图像, 用一幅彩色图像作为源图像, 并自动从源图像取色, 然后将其赋到目标图像上。Liu等人^[2]在Tomihisa等人^[3]方法的基础上, 使用泰勒公式对图像进行分析, 减少了用户的交互步骤, 提高了图像的染色效果。然而, 这种目前现有的基于色彩传递的医学图像彩色化方法在实际应用中存在以下两个不足之处: a) 现有的医学图像着色研究中需要一幅适当的彩色医学图像作参考图像, 把它的色彩传递到待处理的灰度图像中, 但彩色参考图像的来源是一个需要解决的问题; b) 为了更准确地分析诊断病症, 在彩色化过程中需要给医学图像赋上特殊颜色以作标记, 如何有效添加彩色

标记是另一个需要解决的问题。

针对以上两个亟待解决的医学图像彩色化问题, 本文提出一种改进颜色融合的医学图像彩色化方法, 对病灶区域进行KNN图层区分, 并将图层区分结果引入彩色标记图和灰度医学图像的融合结果中进行着色, 从而生成着色结果图。该算法在保持灰度图像原有信息的条件下, 能够成功地着色以增强其视觉效果。

1 基于采样像素点的颜色融合方法

Levin等人^[4]提出了一个简单的基于采样像素点的颜色融合算法, 既不需要精确的图像分块, 也不需要准确的区域跟踪。该算法基于一个简单的假设: 灰度图像中空间上相邻的像素点如果它们的灰度相近, 则它们的颜色也相近。在该方法中, 用户只需要给图片添加少量的彩色注释, 彩色注释就可以在时间和空间上自由扩展, 最终得到完全被彩色化的图像。

算法提出在YUV颜色空间中, 其中Y是单色亮度通道, 一般以强度简化。U和V是色度通道, 为颜色编码。算法输入一个强度信息 $Y(x, y, t)$, 输出两个颜色信息 $U(x, y, t)$ 和 $V(x, y, t)$ 。为简化标记, 文中采用黑体字母(如 r, s)表示 (x, y, t) 。于

收稿日期: 2015-02-04; **修回日期:** 2015-03-27 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(61502331); 天津市高等学校科技发展基金项目(20140816); 天津市应用基础与前沿技术研究计划资助项目(15JCYBJC16000); 天津财经大学2014年度研究生科研资助计划项目(2014TCS02)

作者简介: 华斌(1963-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为多媒体处理; 杨巍(1991-), 女, 硕士, 主要研究方向为图像处理; 盛家川(1982-), 女(通信作者), 讲师, 博士, 主要研究方向为多媒体处理、机器学习(jc_sheng@163.com)。

是, $Y(r)$ 是特定像素的强度。

$$J(U) = \sum_r (U(r) - \sum_{s \in N(r)} w_{rs} U(s))^2 \quad (1)$$

其中: w_{rs} 是权值函数总和为 1。当 $Y(r)$ 与 $Y(s)$ 相同时权值最大, 当两者不同时权值最小。

然而, 在对灰度医学图像着色的过程中, 基于采样像素点的颜色融合方法存在不足: 当彩色笔触的位置和数量标记不合适, 或者物体边界处的灰度值与背景灰度值相近, 会出现颜色渗漏的问题, 不能精准地突出病灶区域的信息, 易造成医患沟通的困难。

2 基于 KNN 图层区分的医学图像颜色融合算法

Levin 等人^[4]的方法采用人工添加约束条件为图像着色, 但是人工标色的像素点占很小的比例, 并在实际操作过程中存在颜色渗漏问题, 不利于医患之间准确沟通。

因此本文引入新的约束条件区分物体边界与背景以获取更加准确的着色结果。在采用 Levin 方法对医学图像进行彩色化的基础上, 本文引入 KNN 图层区分, 提出基于 KNN 图层区分的医学图像颜色融合算法。

2.1 KNN 图层区分

与非局部图层区分相类似, KNN 算法建立连接关系时采用非局部原则, 合理利用共轭梯度法 (PCG) 的先决条件, 在极少的用户注释和极少的时间前提下, 每个图层都得到高质量的图组, 有效进行前背景分离^[5]。非局部原则的假设是降噪像素 m 是具有与函数 $f(m, n)$ 给定权值的相似外观的像素点权值之和^[6]。

KNN 图层区分非常容易在颜色空间中扩展并处理 SVBRDF 或高维数据。对于自然抠图, 为了加强空间相干性, 给定像素点 m 的特征向量 $X(m)$ 可以被定义为

$$X(m) = (\cos(h), \sin(h), s, v, x, y)_i \quad (2)$$

其中: h, s, v 代表 HSV 坐标; (x, y) 表示像素点 m 的空间坐标系。

为了最小化像素点 m 和相邻像素点的颜色信息 $U(m)$ 的差别, 强化图像中物体的边缘信息, 本文引入新的约束条件 α 值, α 参数的期望值是

$$E[\alpha_m] \approx \sum_n \alpha_n f(m, n) \frac{1}{B_m} \quad (3)$$

$$B_m = \sum_n f(m, n) \quad (4)$$

$$f(m, n) = \exp\left(-\frac{1}{h_1^2} \|T(m) - T(n)\|_g^2 - \frac{1}{h_2^2} d_{mn}^2\right) \quad (5)$$

$$T(m) = (r, g, b, x, y)_i \quad (6)$$

其中: α 是所有输入图像 α 值的向量; $T(m)$ 是由像素点 m 信息计算得来的特征向量; r, g, b 代表 RGB 坐标; (x, y) 表示像素点 m 的空间坐标系; d_{mn} 是像素点 m 和 n 之间的像素距离; $\|\cdot\|_g$ 是由高斯中心权值加权得出的准则^[7]; h_1, h_2 是本文通过反复实验确定的常量。

图层区分只提供少量的用户输入, 就可以得到清晰的图像前景和背景区分结果, 实验结果如图 1 所示。图 1(a) 是肝血管瘤 CT 断层切片图像, 输入图 1(b) 中的标记笔道, 可得出图 1(c) 中非常清晰的图层区分结果。图 1(c) 中白色区域即为 α 参数层, 该层为前景层, 其余为背景层。

2.2 改进的医学图像颜色融合算法

对灰度医学图像进行 KNN 图层区分并获得图层区分结



图 1 KNN 图层区分实例

果, 本文算法获得 α 参数, 于是对式 (1) 中权值函数赋予如下定义:

$$w_{mn} \propto (e^{-(Y(m)-Y(n))^2/2\sigma_m^2} \times e^{-(\alpha(m)-\alpha(n))^2/2\beta_m^2}) \quad (7)$$

其中: α_m 是 m 周围像素点灰度值的方差, β_m 是 m 周围像素点 α 值的方差。 w_{mn} 是权值函数总和为 1, 当 $Y(m)$ 与 $Y(n)$ 相同, 并且 $\alpha(m)$ 与 $\alpha(n)$ 相同时权值最大, 当两两不同时权值最小。与之相类似的权值函数在图像分割算法中得到广泛的应用^[8,9], 通常被当做吸引函数。

通过假设颜色和灰度及 α 值的局部线性关系可以得到相关吸引。假设一个像素点的颜色信息 $U(m)$ 是灰度信息 $Y(m)$ 和 α 值信息 $\alpha(m)$ 的线性函数:

$$U(m) = a_m (Y(m) + \alpha(m)) + b_m \quad (8)$$

对于 m 周围的像素点线性参数 a_m 和 b_m 是相同的。这个假设在经验上可以得到判断, 直观上意味着灰度值是连续的颜色也是连续的, 当灰度值处于边缘时颜色也达到边缘 (边缘的两边可以是任何两个数)^[10]。由于用户着色笔道分布不均, 或是物体边界处可能与背景灰度值相近, 就会出现颜色渗漏的情况, α 值的加入就能够强化边界信息, 有效区分像素点计算得到的颜色信息 $U(m)$, 从而避免当灰度值相近时颜色渗漏。这种模式给每个图像窗口增加了一对变量, 即基于吸引函数的相关性和简单消除 a_m, b_m 变量。

算法流程如图 2 所示。

a) 给定医学图像原图 and 用户标色图, 采用颜色融合算法进行着色, 得出着色结果, 发现医学图像关键部位边界处渗色。

b) 选择有渗色问题的图像作为目标图像, 给定医学图像原图 and 用户注释笔道图, 作为基于 KNN 的图像前背景区分算法的输入进行图层区分, 采用封闭式解决方案获得图层区分结果, 并得到每个像素点的 α 值。

c) α 值作为约束条件引入颜色融合算法中, 生成含灰度信息和边界信息的权值函数, 并以此作为着色基础, 改善颜色渗漏的问题, 生成颜色分布精确的图像。

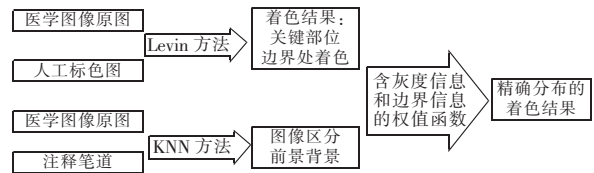


图 2 本文算法流程图

3 实验结果与分析

医学图像的扫描及处理多集中于占位性病变。所谓占位性病变, 就是指恶性肿瘤、淋巴结等由于疾病而生长出来的占有原来器官所在位置的异物^[11]。对于所呈现的医学图像, 医生通过观察其着色密度以及研究质地均匀程度的检测报告, 并根据已有知识和从医经验判断病症。本文算法优化了这一过程, 医生只需简单几步对医学图像进行着色, 可以清晰表现出患病位置, 并且通过对不同部位的区别化着色, 也可以对后期

密度、血流速度等病变分析提供形象直观精确的帮助。

图 3 是本文算法着色结果流程图,肝血管瘤 CT 断层切片图像实例。图 3(b)是彩色标记笔道图,红色标记脑瘤病变位置,黄色标记正常区域,绿色标记切片外轮廓。图 3(e)是 Levin 方法着色结果,图中肝血管瘤病灶处颜色晕染到黄色正常区域,是典型的物体边界处发生颜色渗漏的案例。为了改善该颜色渗漏问题,引入 KNN 图像图层区分结果图 3(f),白色区域即为 α 参数层,该层为前景层,其余为背景层,通过添加约束条件引入 α 值到权值函数,给图像重新着色,修正有颜色溢出的图像着色结果,获得色彩鲜艳、层次分明的图 3(g),能够满足用户对着色图像的要求。本文算法实验结果表明不但保留了原医学图像的灰度信息,并清晰地对各部位着色,增强了医学图像的可读性和视觉效果,对于病人以及非医学专业人员来说,有助于看懂检查出来的成像,并且对自己的病情严重程度有形象直观的了解,方便医患沟通,从而有效缓解当前医患关系紧张的问题。

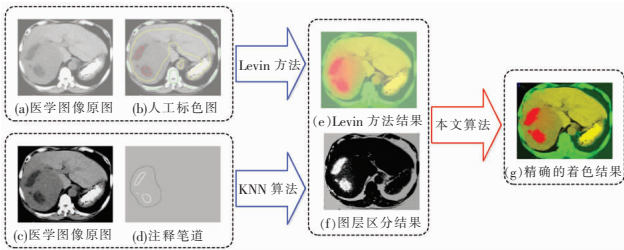


图 3 肝血管瘤 CT 着色实例流程图

由于不同的医学图像在内容分布上存在差异,为了证明本文的算法在灰度医学图像的着色领域有更广泛的应用,本文做了大量验证性实验,图 4 为其中一组脑膜瘤 CT 着色实验结果图。图 4(f)中的红色区域是脑膜瘤病灶区域。

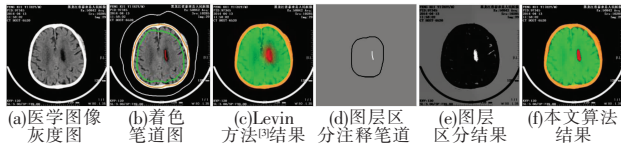


图 4 脑膜瘤 CT 着色实例

图 5 是一组以脑成像灰度图为例实现的医学图像彩色化实验结果对比图。图 5(a)是 MRI 脑成像图,图 5(b)是彩色实物图像,图 5(c)是由前两幅图采用 Liu 算法^[2],经过亮度最佳匹配颜色传递得到的结果图像,图像中间区域仍有一些灰度区域没有被着色。图 5(d)是采用 Ji 算法^[12],引入纹理合成处理方法形成完全着色的彩色结果。图 5(e1)和图 5(f1)分别是两种不同的着色笔道图,经过本文算法得到着色结果图 5(e2)和图 5(f2)。比较这三种算法的实验结果图可以得出,相对于前两种基于色彩传递的医学图像着色算法需要找特定的参考图像。本文算法在医学图像彩色化研究工作上更具有灵活性,可以根据实际需求对医学图像赋予不同的颜色,且具有精确的着色结果。

在医学图像彩色化领域,本文算法有三点主要贡献:

- a) 支持简单的着色输入,即可完善着色到整个图像中,且能保持更好的细节。
- b) 能够传递到连续邻接的区域,并能有效解决生成物体边界渗漏,得到颜色分布精确的着色结果。
- c) 可根据实际需求对医学图像中的不同位置赋予不同的颜色,从心理学角度说,彩色图片有利于缓解焦虑心情,黑白图像多沉重压抑,而且对于不同色块的分析明显对于黑白密度分

布的分析更为清晰,便于医生向患者讲解病情。

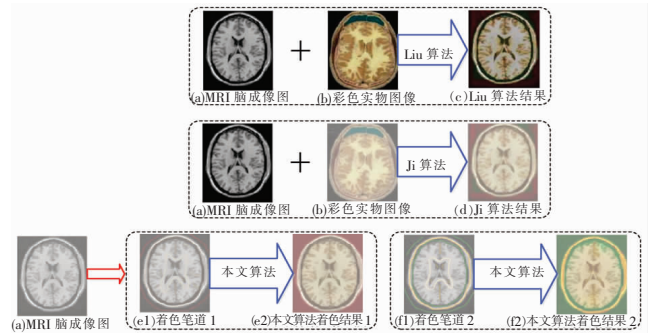


图 5 医学图像彩色化实验结果对比图

4 结束语

对于患者而言,灰度医学图像不能精准地反映病灶区域的信息,很难辨识病灶的部位和严重程度。而医学图像色彩传递方法只能通过特定的彩色参考图对图像赋予特定的颜色,难以满足人们希望更加直观形象地了解病情严重程度的迫切需求。本文搭建了一个灰度医学图像彩色化框架,对医学图像中病灶区域进行图像前背景区分,强化病灶区域的边缘信息,并以此作为新的约束条件引入到颜色融合算法中,生成颜色分布精确的彩色医学图像。实验结果图表明,本文提出的一种改进的医学图像颜色融合算法能够保留原图像的灰度信息,并能根据实际需求对灰度图像精准着色,增强视觉效果,为医患沟通搭建桥梁,减轻病人焦虑。

参考文献:

- [1] Zhao Yuanmeng, Wang Lingxue, Jin Weiqi, et al. Colorizing biomedical images based on color transfer [C]//Proc of IEEE/ICME International Conference on Complex Medical Engineering. 2007: 820-823.
- [2] Liu Hongbo, Wang Xiukun. Image analysis by analogy with Taylor expansion [C]//Proc of the 20th Spring Conference on Computer Graphics. 2004:209- 211.
- [3] Tomihisa W, Michael A. Transferring color to greyscale images [C]// Proc of ACM SIGGRAPH. 2002:227-280.
- [4] Levin A, Lischinski D. Colorization using optimization [J]. ACM Trans on Graphics, 2004, 23(3): 689-694.
- [5] Chen Qifeng, Li Dingzeyu, Tang Chikeung. KNN matting [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2013, 35(9): 2175-2188.
- [6] Shu Xianbiao, Yang Jianchao, Ahuja N. Non-local compressive sampling recovery [C] //Proc of IEEE International Conference on Computational Photography. 2014: 1-8.
- [7] 徐枫,严锡君,黄陈蓉,等. 特征驱动先验的归一化卷积超分辨率重建[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(10): 1514-1523.
- [8] 侯玉婷,彭进业,郝露微,等. 基于KNN的特征自适应加权自然图像分类研究[J]. 计算机应用研究, 2014, 31(3): 957-960.
- [9] Zheng Shuai, Cheng Mingming, Warrell J, et al. Dense semantic image segmentation with objects and attributes [C]//Proc of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2014:3214-3221.
- [10] Lee S, Park S W, Oh P, et al. Colorization based compression using optimization [J]. IEEE Trans on Image Processing, 2013, 22(7): 2627-2636.
- [11] 鲁蓉,肖莹. 弹性成像应变率比值法与弹性评分法诊断宫颈占位性病变的价值比较 [J]. 中国现代医学杂志, 2014, 24(10): 32-36.
- [12] Ji Ye, Chen Yan, Zhang Lin, et al. An algorithm of transferring color to greyscale brain image [C]//Proc of the 3rd International Conference on Power Electronics and Intelligent Transportation System. 2010:416-418.