

SLIC 超像素分割在医学图像处理中的应用

陈相廷,张佑雅,渠星星,刘斌

(河南大学计算机与信息工程学院,开封 475000)

摘要:

医学影像现已广泛应用于临床实践,是专家诊断病情的重要依据。但医学图像具有成像机制复杂,目标位移产生伪影,部分容积效应导致误差和设备磨损产生噪声等诸多不稳定因素,极大增加后续图像处理的复杂度。基于 SLIC 超像素分割算法利用像素间的冗余信息,在预处理阶段通过特征相似度消除伪影和噪声造成的影响,同时良好的聚类效果大大降低算法的复杂度,为专家快速诊断提供有效依据。

关键词:

图像处理;医学影像;超像素;图像分割

0 引言

图像是信息视觉化的一种方式,人类本身对可视化内容如颜色、图形、物体的认知和接受能力远高于文字信息。图像是一种准确传达信息的方式,可有效避免信息误导。在医疗领域,对象往往具有结构复杂、个体差异大、采集难度高等特性,图像因其自身在信息表达上的优势已广泛应用于临床实践。医学影像可使专家更清楚地辨认患者病理变化的位置和结构,从而可以多角度、多层次地分析和诊断。

在实际医疗影像的成像过程中,目标本身很难保持绝对静止,会产生如:呼吸、脏器蠕动等不可避免的位移,位移会导致生成的图像中产生伪影,同时设备自身的磨损会使生成的图像中出现噪声。常规的图像处理以像素作为基本单元,处理过程往往具有数据量大、迭代次数多、参数估计收敛慢等缺陷。大规模运算会耗费大量时间,临床实践中往往不允许过长的处理时间,因此医疗机构通常的做法是花费大量资金购买昂贵的设备以提升硬件性能,缩短处理时间。为节约成本,降低处理的时间和空间复杂度,超像素的概念在医学图像处理中将具有广阔的应用和发展空间。

1 超像素分割模型

超像素这一概念最早由 Ren 等人于 2003 年提出^[1],该分割模型完美延续了图像中轮廓、纹理和亮度之间的关联,利用图像冗余信息将特征相似度较高的像素归为一类,形成像素聚合块即超像素。通常人眼视觉对于单个像素并不敏感,同样单个像素对整幅图像的信息含义并不大,人类所感知和关注的是图像中梯度变化较大的区域,常为图像边界。超像素模型保留了图像边界特征,有效突出了图像中重要部分的信息。

超像素分割算法大体包含两类:一类是基于图论的分割方法。该方法的主要思想是将原图整体映射为一幅无向加权图,图中的每个节点对应原图中的每个像素,图中的每条边对应原图中相邻像素间的关系,边的权重表示原图中相邻像素的特征差异度,然后根据权重组合得到的阈值对原图进行分割。但基于图论的分割方法计算量较大,对超像素的数量和紧凑度难于控制,不适用于医学图像处理中。另一类是基于梯度下降的超像素分割方法。该方法主要采用了聚合分类的基本思想,以最初相对分散于图中各处的超像素重心为中心,通过梯度下降的方式不断聚合,直至将所有像素分类完毕。在梯度下降的方法中,SLIC (Simple Lin-

ear Iterative Clustering,简单线性迭代聚类)算法以亮度和距离等特征的相似度为衡量标准,可产生大小均匀、形状规则、易于控制的超像素块,符合医学图像处理的需求^[2]。

2 SLIC 超像素分割

SLIC 超像素分割算法最早由 Achanta 等人于 2010 年提出^[3],该方法依据颜色、亮度相似性和空间相邻性将像素聚类为超像素,整个聚类过程均要用到 LAB 色彩空间的特征值。LAB 色彩模型中 L 代表亮度分量,实际操作中取值范围通常为 0 到 100,表示从纯黑到纯白;A 表示红绿色彩分量,通常取值-128 到+127,-128 为绿色,+127 渐变为红色;B 表示黄蓝色彩分量,通常取值-128 到+127,同理-128 为蓝色,+127 为黄色。LAB 色彩空间不仅包含 RGB 空间所能表示的所有范围,更重要的是三个对应分量近似正交,可最大限度削弱分量变化时彼此间造成的影响。

2.1 色彩空间初始化

RGB 色彩空间无法直接转化至 LAB 空间^[4],该过程通常需要借助 XYZ 空间来实现。RGB 色彩空间转化为 LAB 色彩空间的具体步骤如下:

(1)将图像 r g b 通道的分量通过 gamma 函数转化至 RGB 空间中,其中 gamma 函数通常用来对图像进行非线性色调编辑,以提高图像对比度。转换公式如下:

$$\begin{cases} R=\text{gamma}\left(\frac{r}{255}\right) \\ G=\text{gamma}\left(\frac{g}{255}\right) \\ B=\text{gamma}\left(\frac{b}{255}\right) \end{cases}$$

其中:

$$\text{gamma}(x)=\begin{cases} \left(\frac{x+0.055}{1.055}\right)^{2.4}, & x>0.04045 \\ \frac{x}{12.92}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

(2)从 RGB 空间转换至 XYZ 空间,转换公式如下:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} =$$

$$100 * \begin{bmatrix} 0.436052025 & 0.385081593 & 0.143087414 \\ 0.222491598 & 0.716886060 & 0.060621486 \\ 0.013929122 & 0.097097002 & 0.714185470 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

(3)从 XYZ 空间转换至 LAB 空间,转换公式如下:

$$\begin{cases} L=116f\left(\frac{Y}{Y_n}\right)-16 \\ A=500\left[f\left(\frac{X}{X_n}\right)-f\left(\frac{Y}{Y_n}\right)\right] \\ B=200\left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right)-f\left(\frac{Z}{Z_n}\right)\right] \end{cases}$$

其中:

$$f(t)=\begin{cases} t^{\frac{1}{3}}, & t>\left(\frac{6}{29}\right)^3 \\ \frac{1}{3}\left(\frac{6}{29}\right)^2 t + \frac{4}{29}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

X_n, Y_n, Z_n 参考白点 CIE, XYZ 三色刺激值(下标 n 表示“normalized”),计算时通常取 $X_n=96.4221, Y_n=100.0000, Z_n=82.5221$ 。

图像处理完毕后,需重新转化到 RGB 色彩空间显示。同理,这一过程仍借助 XYZ 空间进行过渡,具体步骤如下:

(1)将 LAB 色彩空间转化至 XYZ 空间,转换公式如下:

$$\begin{cases} Y=Y_n f^{-1}\left(\frac{1}{116}(L+16)\right) \\ X=X_n f^{-1}\left(\frac{1}{116}(L+16)+\frac{1}{500}A\right) \\ Z=Z_n f^{-1}\left(\frac{1}{116}(L+16)-\frac{1}{200}B\right) \end{cases}$$

其中:

$$f^{-1}(t)=\begin{cases} t^3, & t>\frac{6}{29} \\ 3\left(\frac{6}{29}\right)^2\left(t-\frac{4}{29}\right), & \text{otherwise} \end{cases}$$

(2)从 XYZ 空间转换至 RGB 空间,转换公式如下:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = 100^{-1} * \begin{bmatrix} 0.436052025 & 0.385081593 & 0.143087414 \\ 0.222491598 & 0.716886060 & 0.060621486 \\ 0.013929122 & 0.097097002 & 0.714185470 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

(3)将 RGB 空间的值转化为对应的 R、G、B 通道分量,转换公式如下:

$$\begin{cases} r=r_gamma(R)*255 \\ g=r_gamma(R)*255 \\ b=r_gamma(R)*255 \end{cases}$$

其中 r_gamma 为 R、G、B 的 gamma 逆变换,逆变换函数定义如下:

$$r_gamma(x)=\begin{cases} 1.055*(x)^{\frac{1}{2.4}}-0.055, & x>0.0031308 \\ 12.92*x, & otherwise \end{cases}$$

通过上述方法可实现 RGB 空间和 LAB 空间的相互转换,为 SLIC 算法完成预处理工作。

2.2 SLIC 算法

SLIC 算法依据 LAB 色彩空间分量值及 XY 坐标值所构成的 5 维特征向量制定局部聚类阈值^[5-6]。该算法的核心步骤如下:

(1)初始化聚类中心。该步骤要将聚类中心均匀地分布在图像内,假设原图包含 P 个像素点,聚类为 N 个超像素块,为保证生成的超像素块形状规则,分布均匀且紧凑,每个超像素大小应为 P/N , 相邻聚类中心的距离近似为 $S=\sqrt{P/N}$ 。

(2)聚类中心校正。为避免聚类过程中,中心所在位置梯度过大而造成误差,以每个聚类中心为窗口基准,取窗口大小为 $n*n$ (n 通常取 3) 范围内梯度最小的位置替换原聚类中心。同时为每个聚类中心分配一个单独标记。

(3)确定聚类阈值。取图中两像素点 i 和 j , 通过 LAB 色彩空间对应值和 XY 坐标值定义两像素间的相似度,公式如下:

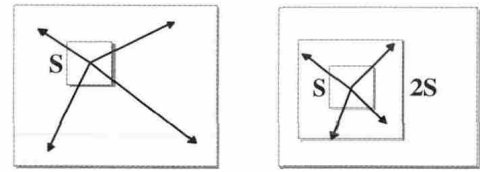
$$d_{lab}=\sqrt{(l_i-l_j)^2+(a_i-a_j)^2+(b_i-b_j)^2}$$

$$d_{xy}=\sqrt{(x_i-x_j)^2+(y_i-y_j)^2}$$

$$D_s=d_{lab}+\frac{m}{S}d_{xy}$$

其中 d_{lab} 为像素点 i, j 的色彩差异度; d_{xy} 为像素点 i, j 的欧氏距离; D_s 为聚类阈值, S 是聚类中心的距离; m 为平衡参数,用来控制色彩差异和空间距离在聚类阈值中所占比重,范围为 $[1, 20]$, 通常取 10。 D_s 值与像素相似度成正比, D_s 值越大,像素相似度越高。

(4)为提高算法效率,SLIC 算法搜索以聚类中心为核心, $2S*2S$ 的邻域范围,如图 1 所示。



(a)全图范围搜索 (b) $2S*2S$ 邻域范围搜索

图 1

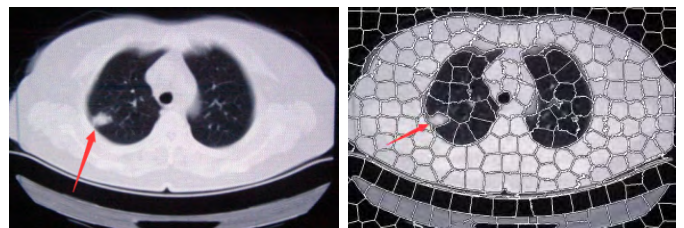
将相似度大于聚类阈值的像素与相应中心聚类,并将聚类中心的标记分配给对应像素。不断重复迭代聚类过程直至收敛,完成对图像的超像素分割。

3 超像素在医学图像处理中的应用

基于 SLIC 技术的超像素分割在医学图像处理中有着广泛的应用空间。该方法可有效突出图像细节特征,利用图像冗余信息,通过聚类的思想将相对独立的像素点合并为分布均匀,边界规则的超像素块,并保持图像的重要边界信息,极大提高了图像处理的效率^[7]。同时,该算法可控制超像素数量和紧密度,能够对不同尺寸的图像完成超像素分割,具有普遍性和可靠性。如今,该技术可应用于医学中多个领域,为专家快速诊断提供辅助。具体应用如下:

(1)癌变病灶定位。由于癌变组织的相关性状已经发生改变,在 CT 影像中,癌变组织与周围组织在显示上有显著区别。基于 SLIC 技术的超像素分割可快速将图中病变部分聚类,为专家提供癌变病灶的具体位置和轮廓,如图 2,3 所示。

(2)内出血定位。内出血时刻危及病人生命,尤其是颅内出血,如果不及时抢救会造成偏瘫,语言功能障碍等严重后果,甚至威胁生命。通过 SLIC 超像素分割可快速定位出血位置及大小,如图 4 所示。



(a)肺癌 CT 原图 (b)肺癌 CT 超像素分割图

图 2

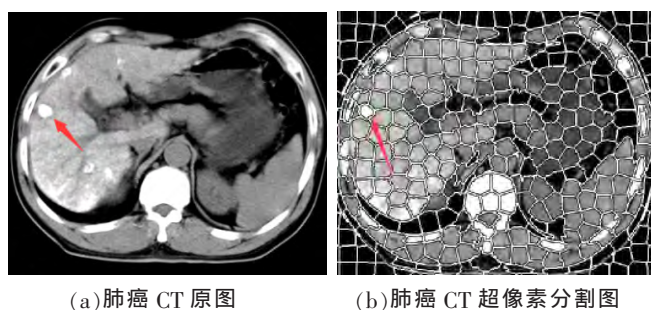


图 3

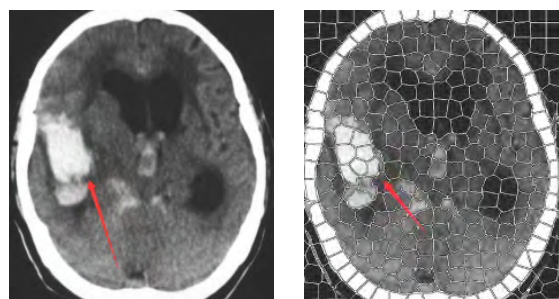


图 4

此外,该技术还可应用在体内异物检查,胎位检查,胸腹腔积水检测等多个领域。SLIC 超像素分割技术在医学领域的应用为专家快速诊断提供了重要参考和支持,节约了宝贵的抢救时间。

4 结语

超像素模型将图像的轮廓、纹理和亮度等特征相关联,将高相似度像素聚类为超像素块,极大降低了算法的复杂度,提高图像处理效率^[8]。基于 SLIC 的超像素分割方法,根据色彩差异和空间距离特征,可对医学影像实现快速分割,生成分布均匀、大小规则的超像素块,突出病变的位置、轮廓等信息,辅助专家快速完成临床诊断。超像素分割因其高效、快速、准确的特性在医学图像处理中有着广泛的应用和发展前景。目前国内外专家学者已开展深入研究,未来的研究将致力于采用自适应的超像素分割方法实现无人工干预的全自动计算机快速诊断。

参考文献:

- [1]Malik J. Learning a Classification Model for Segmentation[C]. null. IEEE Computer Society, 2003:10-17 vol.1.
- [2]Achanta R, Shaji A, Smith K, et al. SLIC Superpixels[J]. Epfl, 2010.
- [3]Bergh M V D, Boix X, Roig G, et al. SEEDS: Superpixels Extracted Via Energy-Driven Sampling[J]. International Journal of Computer Vision, 2013, 111(3):298-314.
- [4]滕秀花, 胡文瑜, 陈敏. 一种基于 SLIC 的超像素快速色彩传递算法[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2014, 第 3 期:77-80.
- [5]饶倩, 文红, 喻文, 等. 超像素及其应用综述[J]. 电脑与信息技术, 2013, 05 期:1-3.
- [6]王春瑶, 陈俊周, 李炜. 超像素分割算法研究综述[J]. 计算机应用研究, 2014, 01 期:6-11.
- [7]Huang J, Chen J, Chen S. A Simple Linear-Time Approximation Algorithm for Multi-processor Job Scheduling on Four Processors[C]// Proceedings of the 11th International Conference on Algorithms and Computation. Springer-Verlag, 2000:33-45.
- [8]Fulkerson B, Vedaldi A, Soatto S. Class Segmentation and Object Localization with Superpixel Neighborhoods[C]. Computer Vision, 2009 IEEE 12th International Conference on. IEEE, 2009:670-677.

作者简介:

陈相廷(1991-),男,河南安阳人,硕士研究生,研究方向为数字图像处理
 张偌雅(1993-),女,河南信阳人,硕士研究生,研究方向为数字图像处理
 渠星星(1992-),女,河南许昌人,硕士研究生,研究方向为数字图像处理
 刘斌(1988-),男,河南新郑人,硕士研究生,研究方向为数字图像处理

收稿日期:2015-11-03

修稿日期:2015-12-03

Application of SLIC Superpixels Segmentation in Medical Image Processing

CHEN Xiang-ting, ZHANG Ruo-ya, QU Xing-xing, LIU bin

(College of Computer and Information Engineering, Henan University, Kaifeng 475000)

Abstract:

Medical imaging has been widely used in clinical practice, it is an important basis for medical expert to diagnose the disease. However, medical images have many unstable factors such as complex imaging mechanism, and the target displacement has a false image, the partial volume effect leads to error and equipment wear, which greatly increases the complexity of subsequent image processing. Based on SLIC, a superpixels segmentation algorithm is used to eliminate the influence of artifacts and noise by means of the feature similarity in the preprocessing stage. At the same time, good clustering effect can greatly reduce the complexity of the algorithm, which provides an effective basis for the rapid diagnosis of experts.

Keywords:

Image Processing; Medical Image; Superpixels; Image Segmentation

(上接第 46 页)

The Complexity Source Research of Human-Computer Interaction Process Based Digital Interface

LI Xin¹, YANG Lin², LI Dong-hun³

(1. School of Management, Inner Mongol University of Technology, Hohhot 010051;

2. The 6th Academy of China Aerospace Science & Industry Corp, Hohhot 010051;

3. The School of Design of Korea Dongseo University, Busan)

Abstract:

Interactive process is the set of user's behavior; it connects to the system design and user experience as a form of mediation. To make digital interface to complete accurate information exchange, so the complexity of interaction process is inevitable. Studies the ontology of interactive process, analyses the phenomenon of interactive process from the two dimensions of user behavior and system design, and proposes three sources of interactive process complexity.

Keywords:

Interactive Process; Complexity; Digital Interface; User Behavior