

一种基于 SSSED 的无规则噪声组织的去除方法

张 硕, 袁克虹

清华大学深圳研究生院, 广东 深圳 518055

【摘 要】目的:在医学图像处理领域,往往会由于方案设计、算法选取等原因而产生大量的不规则的噪声组织。本文通过研究分析噪声组织形态特征,提出了一种新的快速去除噪声组织的方法,为医学图像处理的噪声组织去除领域提供一种全新的思路。**方法:**本文首次将距离映射应用到噪声组织去除领域,利用有符号串行欧氏距离映射(Signed Sequence Euclidean Distance Mapping, 简称 SSSED)对图像进行距离映射计算,通过对距离映射图像进行适当的阈值化处理,实现了快速识别、去除各种不规则的噪声组织,与此同时确保了感兴趣目标区域的完整。**结果:**本方法已通过对 12 组临床心脏 CT 序列的实际测试,快速准确的去除了图像中存在的各种不规则的噪声组织,同时实现了对感兴趣目标区域的平滑。**结论:**该方法去除精度高、去除效率优于现有的形态学和骨架提取等各类方法,为临床医生的诊断提供了清晰且精确的辅助,大大提高了无规则噪声组织去除的效率和鲁棒性。

【关键词】噪声组织; SSSED; 形态学; 医学图像

【DOI 编码】doi:10.3969/j.issn.1005-202X.2015.01.012

【中图分类号】R73

【文献标识码】A

【文章编号】1005-202X(2015)01-48-04

Segmentation Algorithm for Irregular Noise Tissue Based on Sequential Signed Euclidean Distance Transform

ZHANG Shuo, YUAN Ke-hong

Graduate School at Shenzhen, Tsinghua University, Shenzhen 518000, China

Abstract: Objective In the field of medical image processing, there often remains much irregular noise tissue due to the project design, the algorithm or other reasons. By studying morphological features of irregular noise tissue, we propose a new method to quickly remove noise tissue and provide a fresh idea for noise removal field. **Methods** In this paper, we, for the first time, apply distance mapping to the field of noise tissue removal. The use of signed sequence Euclidean distance transform (SSSED) enables fast identification and removal of various irregular noise tissue, while simultaneously ensures the complete target region of interest. **Results** Our method has been tested by 12 groups of actual clinical cardiac CT sequences, and it segments fast and accurately, at the same time smooths the edge of region of interest. **Conclusion** The method is more precise and effective than other methods like morphology and skeleton extraction, and it provides a well assistance for the diagnosis of clinicians as well as greatly improves the efficiency and robustness of irregular noise tissue segmentation.

Key words: noise tissue; SSSED; morphology; medical image

前 言

噪声组织,指的是在数字图像处理领域中提取

感兴趣目标区域时,由于方案设计、算法选取等原因而残留的细小的不规则的组织。在医学图像领域,残留噪声组织的现象尤为突出。由于人体结构的复杂性,器官的多样性,在 CT 断层图像中往往存在着多种器官的重合、粘连等现象,因此在分割和提取过程中器官重合、粘连区域常常会出现噪声组织,干扰临床医生的诊断。例如肺部分割中,残留的细小噪声组织(心肌外壁)会对识别肺泡产生干扰;在冠状动脉可视化中,未去除的降主动脉、椎骨等边缘,阻碍临床医生观察冠状动脉分支的细小末端。

【收稿日期】2014-09-28

【基金项目】广东省科技计划项目 (2011B050500006); 院交叉基金 (JC2014-0001)

【作者简介】张 硕(1987-),男(汉族),山东,硕士,主要研究方向:医学图像分割和远程云医疗。E-mail: zssure@163.com。

【通讯作者】袁克虹(1965-),男(汉族),黑龙江,博士,副教授,硕士生导师,主要研究方向:医学信息的网络安全传输、无损压缩存储等技术,医学信息数据挖掘和图像分析技术及在辅助临床诊断和治疗中的应用等。E-mail: yuankh@sz.tsinghua.edu.cn。

1 相关研究

目前数字图像处理领域,对于细小的突出物(即噪声组织),通常会利用形态学的相关处理方法,如开操作和闭操作^[1-2]。开操作一般会平滑物体的轮廓、断开狭窄区域,起到消除细的突出物的作用;闭操作同样也会平滑轮廓的一部分,但是与开操作相反,它通常会连接狭窄区域,消除小的孔洞,填补轮廓线中的断裂。形态学的处理方法实现简单,但是运算量极大,对于较大的噪声组织无法有效的去除;骨架提取^[3-5]是对形态学去除噪声组织的一种改进,减少了识别噪声组织的扫描范围,大大提高了去除效率,但是骨架提取算法复杂,且骨架本身同样存在着细小分支的噪声组织。另外部分研究者^[6-8]从噪声组织的几何特征入手,能够快速准确的识别线性狭窄带状噪声区域,其中王萍等^[1]对噪声组织的局部特征进行了分析,给出了不规则噪声组织的局部共性,如图 1 所示。识别噪声组织局部几何特征的方法由于需要对噪声区域进行分割、连通域提取和标记,以及特征分析等多项操作,实现复杂,运算量大,且随着噪声组织的增大耗时成指数增长,实用性不佳。



图 1 噪声组织局部几何特征

Fig.1 Local Geometric Features of Noise Tissue

2 方法和结果

鉴于上述分析,本文在实际运用形态学、骨架提取和局部几何特征提取等方法去除噪声组织过程中,发现王萍等^[9]提出的基于局部特征的带状区域识别和 Pai T W 等^[1]骨架提取等方法都是利用噪声组织自身的几何特征,快速识别定位噪声组织,从而实现降低运算量的目的,并且上述两类方法提取的都是噪声组织的距离特征。

因此,本文进行了大胆的尝试--直接将距离映射应用到噪声组织去除领域。首先,计算出目标图像的距离映射图,然后,统计分析噪声组织大小,对距离映射结果图进行阈值化处理;最后,对阈值化处理后的距离映射图像进行复原操作,实现去除噪声组织的目的。该方法直接从距离映射入手,大大降低了运算量,提高了运行效率和去除精度。

下面详细介绍本文的研究工作。

2.1 SSSED

距离映射恰好能够很好地反映出目标区域到指定源的距离关系,是由数字图像所衍生的另一种表现形式。距离映射图像中用与其最邻近目标点的距离来标记源图像中的每一个像素点。随着使用距离变换的矩阵不同,会生成不同的距离映射,如街区距离映射(Taxicab Geometry 或 City Block)、棋盘距离映射(Cheessboard Distance) 和欧式距离映射(Euclidean Distance)。

$$d_4((i,j)(h,k))=|i-h|+|j-k| \quad (1)$$

$$d_8((i,j)(h,k))=\max(|i-h|, |j-k|) \quad (2)$$

$$d_e((i,j)(h,k))=\sqrt{(j-k)^2+(i-h)^2} \quad (3)$$

其中因为欧式距离映射(3)与我们生活中所熟知的距离概念相同,应用最广泛。

Danielsson 等^[9]对欧式距离映射进行了介绍,给出了利用模板求取离散域中欧式距离映射的串行计算方法,简称为 SED,并详细分析了四邻域(4SED)和八邻域(8SED)两种方法的固有缺陷。Ye 等^[10]对串行欧式距离映射算法(SED)进行了扩展,用向量距离

$$L(x,y)=(L_x(x,y),L_y(x,y))$$

来代替原始的模距离 $d_e(p,q)$,两者之间的转换关系为:

$$d_e(p,q)=||L(x,y)||=\sqrt{L_x(x,y)^2+L_y(x,y)^2} \quad (4)$$

利用向量距离可以方便的确定各点的坐标,如图 2 所示,设点 (x,y) 处距离向量为 $(L_x(x,y),L_y(x,y))$,那么可以得到距离 (x,y) 最近的点 (x_0,y_0) 坐标为 $(x+L_x(x,y),y+L_y(x,y))$ 。

向量距离使得距离映射图像在反映出各像素点与其最邻近目标点距离的同时标记出了两者之间的方位关系,信息量更丰富。另外文中也给出了利用模板串行化求取 8 邻域有符号欧氏距离映射(8SSSED)的详细流程。

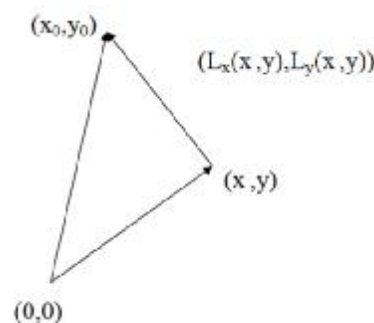


图 2 向量距离示意图

Fig.2 Vector Distance

2.2 SSSED 在噪声去除领域的应用

本文首次将有符号串行欧氏距离映射方法(SSSED)进行扩展,充分利用距离映射图像中所反映出的非规则噪声组织区域各点之间的位置关系,达到快速准

确去除非规则噪声组织的目的。该方法同时能够对目标区域边缘进行平滑,使得最终的分割结果看起来更加自然真实。

方法的具体流程如下:

(1)求取待处理图像的 SSED 距离映射图像(图 3b)。随着映射距离增大,高映射值(图 3c)代表的闭合边缘线逐渐变得平滑,假设需要去除的噪声组织的最大宽度为

$$l_{\max} = \max\{l = ||p - q||, \forall p, q \in R \text{ and } p \neq q\},$$

那么距离映射图像中的干扰区内部的最大值小于 $1/2l_{\max}$,通过提取 $d > 1/2l_{\max}$ 的内部区域就能够将细小噪声组织平滑掉;

(2)用 $d=1/2l_{\max}$ 对 SSED 图像进行阈值化,将小于 d 的区域去掉,得到消除噪声组织的初步结果(图 3c);

(3)由于 SSED 图像向内收缩是全局的,非干扰区的边缘点也会向内收缩。所以(2)中对 SSED 进行

直接阈值化后,会导致非干扰区的边缘也被切割。此时需要进行图像复原(图 3d~ 图 3f)。沿(2)中结果的最外侧边缘线,分别以边缘点为圆心,以 d 为半径画圆,进行原始图像复原,对圆覆盖区域内的源图像进行判别,恢复源图像中的前景点。此时由于噪声组织区域的所有点已经被去除,该操作不会对其进行复原;

(4)至此,就达到了最大限度去除噪声组织的目的,且能够很好的保证对原始图像的复原,详细过程见示意图 3。

2.3 结果分析

文中通过对 12 组心脏 CT 临床数据分析,给出了基于 SSED 方法与传统形态学开操作方法、骨架提取方法以及噪声组织局部特征提取方法的对比结果,如图 4 所示,左侧图像是含有大量噪声组织的示意图,图像中大量杂乱的、不规则的噪声组织最大半径约为 12 个像素。

从图 4 右侧可以看出,(1)基于局部几何特征提取的方法单幅图像平均耗时约为 1400 ms,正如前文所述,由于该方法需要进行连通域标记、提取,以及几何特征统计等多项复杂运算,所以运行效率很低;(2)传统形态学开操作的单幅图像平均耗时约为 670 ms。形态学操作中需要指定结构元,在去除大的噪声组织时,结构元的选取和设定复杂,运算量与结构元大小的平方成正比,去除效率随着结构元增大而显著降低;(3)骨架提取方法的单幅图像平均耗时 700 ms,虽然骨架提取减少了噪声组织识别和定位的运算时间,但是去除噪声组织后的复原操作运算量大,因此该方法相较于传统的形态学开操作并没有大的改进,效率上有时候反而有所降低;(4)本文提出的基于 SSED

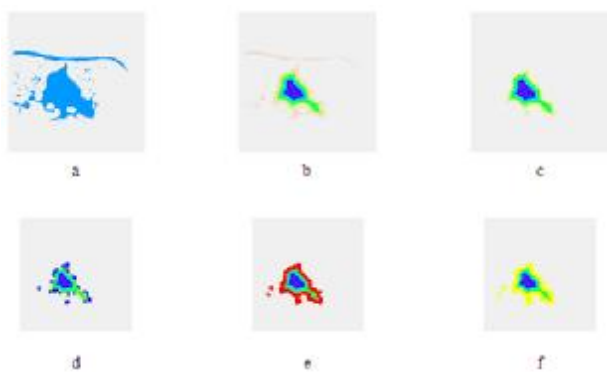


图 3 利用 SSED 进行噪声组织去除的示意图

Fig.3 The Tissue Removal Result of SSED

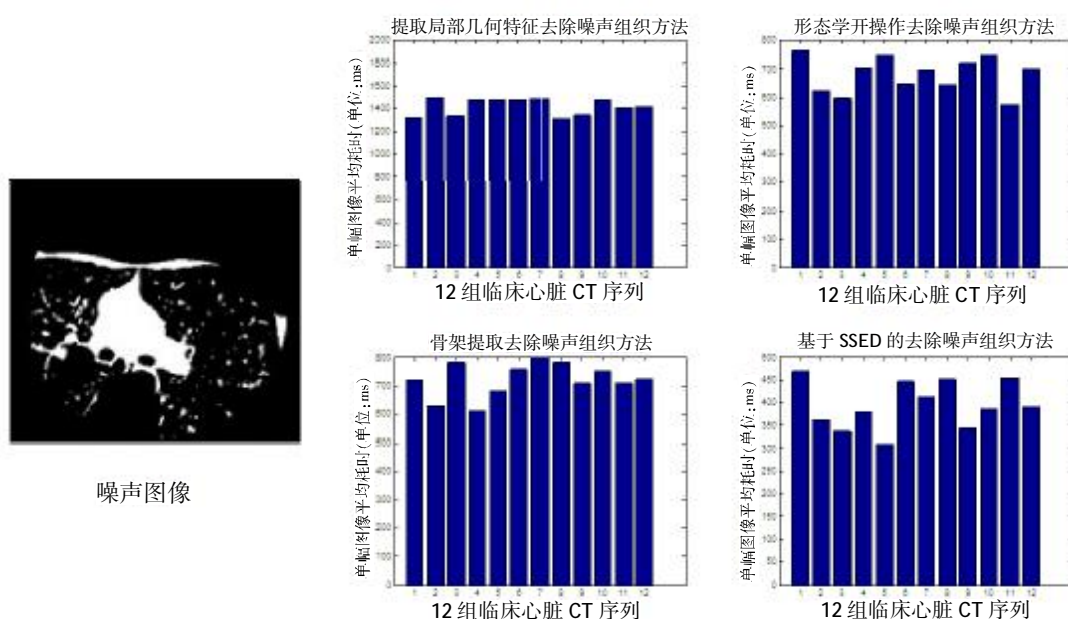


图 4 本文基于 SSED 噪声去除算法与现有算法的效率对比结果示意图

Fig.4 Comparison Results of Our SSED Method and the Existing Algorithms

(下转第 56 页)

- models for navigation in liver surgery [C]. MICCAI, 2004, 534-541.
- [9] 侯勇, 王鹏程, 尹勇, 等. 医学图像形变配准在图像引导放射治疗中的应用 [J]. 中国医学物理学杂志, 2011, 28(5): 2882-2887.
- Hou Y, Wang PC, Yin Y, et al. The application of deformable medical image registration in image-guided radiotherapy [J]. Chines Journal of Medical Physics, 2011, 28(5): 2882-2887.
- [10] 冯兆美, 党军, 崔峭峭. 基于 B 样条自由形变三维医学图像非刚性配准研究 [J]. 影像科学与光化学, 2014, 32(2): 200-208.
- Feng ZM, Dang J, Cui XY. Research on non-rigid 3D medical image registration based on B-spline free deformation [J]. Imaging Science and Photochemistry, 2014, 32(2): 200-208.
- [11] 陈显毅. 图像配准技术及其 MATLAB 编程实现 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2009: 13-15.
- Chen XY. Image registration and MATLAB programming [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2009: 13-15.
- [12] 富京山, 左文莉. 临床超声鉴别诊断学 [M]. 北京: 人民军医出版社, 2007: 183-186.
- Fu JS, Zuo WL. Differential diagnostics of clinical ultrasound [M]. Beijing: People's Military Medical Press, 2007: 183-186.
- [13] 韩寒, 冯乃章. 超声图像去噪方法 [J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(26): 193-195.
- Han H, Feng NZ. New method for ultrasound image denoising [J]. Computer Engineering and Application, 2011, 47(26): 193-195.
- [14] 尚振宏, 刘明业. 二值图像中拐点的实时检测算法 [J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(3): 295-300.
- Shang ZH, Liu MY. Real-time corner detection in binary image [J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10(3): 295-300.

(上接 50 页)

方法的单幅图像平均耗时约为 370 ms, 效率相较于上述 3 种方法有了大幅地提升, 更重要的是基于 SSED 的方法的运算量和效率与噪声组织的大小无关, 对于去除复杂的不规则的噪声组织效果显著。

3 结 论

串行有符号欧式距离映射(SSED)图像是数字图像衍生出来的一种形式, 其蕴含了丰富的信息, 例如相对位置、中心线和骨架等。本文在充分利用 SSED 图像信息的基础上, 首次将其扩展应用到了去除不规则噪声组织领域, 为医学图像处理的噪声去除工作提供了一种全新的思路。

【参考文献】

- [1] Gonzalez RC, Woods. Digital Image Processing, Third Edition. Beijing: Publishing House of Electronics Industry [M]. 2011.
- [2] Haralick RM, Sternberg SR, Zhuang X. Image analysis using mathematical morphology [J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, 1987, (4): 532-550.
- [3] 李川, 彭甫榕, 陆建峰. 基于距离场细化的骨架提取算法 [J]. 微电子学与计算机, 2011, 28(10): 114-117.
- Li C, Peng FR, Lu JF. Skeleton extraction algorithm based on distance field thinning [J]. Microelectronics and Computer, 2011, 28(10): 114-117.
- [4] Pai TW, Hansen JHL. Boundary constrained morphological skeleton minimization and skeleton reconstruction [J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, 1994, 16(2): 201-208.
- [5] Maragos P, Schafer RW. Morphological skeleton representation and coding of binary images [J]. Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE Transactions on, 1986, 34(5): 1228-1244.
- [6] 钟孟儿, 冯华君, 裴锡宇, 等. 在复杂背景下线状物体的图像分割算法研究 [J]. 光学仪器, 2005, 27(1): 52-56.
- Zhong ME, Feng HJ, Pei XY, et al. Segmentation of linear object from complex background [J]. Optical Instruments, 2005, 27(1): 52-56.
- [7] 倪维平, 徐刚锋, 李 飏, 王 平. 基于正交投影特性的带状目标检测 [J]. 红外与激光工程, 2007, 36(3): 407-411.
- Ni WP, Xu GF, Li B, et al. Detection of band object based on the characteristics of cross-projection [J]. Infrared and Laser Engineering, 2007, 36(3): 407-411.
- [8] 王 萍, 冯卫家. 一种复杂背景下非规则带状区域的分割算法 [J]. 天津大学学报, 2012, 45(2): 135-139.
- Wang P, Feng WJ. Segmentation algorithm for irregular belt-shaped region within complex background [J]. Journal of Tianjin University, 2012, 45(2): 135-139.
- [9] PER-ERIK DANIELSSON. Euclidean distance mapping [J]. Computer Graphics and Image Processing, 1980, 14: 227-248.
- [10] Ye QZ. The signed Euclidean distance transform and its applications [C]. Pattern Recognition, 1988, 9th International Conference on. IEEE, 1988: 495-499.