

# 基于三维形态学的冠脉血管自动提取研究

欧阳自鹏<sup>1</sup>, 房斌<sup>1</sup>, 王翊<sup>1</sup>, 李颖<sup>2</sup>

(1. 重庆大学计算机学院, 重庆 400044;  
2. 第三军医大学基础医学部, 重庆 400038)

**摘要:** 目的: 快速、有效地将冠状动脉血管从 CT 图像中自动提取以及冠脉开口处的自动识别。方法: 结合直方图阈值、三维腐蚀膨胀和区域增长等形态学图像处理技术, 数据分析并根据心脏主动脉圆柱形态及窦口与其中中心线的距离关系, 对冠状窦口进行自动识别, 实现冠脉血管的提取和三维重建。结果: 自动提取的冠脉血管轮廓清晰, 与原图吻合度高, 且与手工分割结果有较好的一致性。结论: 实现了冠状动脉血管较为精确的自动提取, 对冠状窦口有较高的识别率。

**关键词:** 计算机应用; 冠脉提取; 三维形态学; 医学图像分割; 冠状窦口

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1674-2850(2016)10-0997-06

## Study on automatic extraction based on three-dimensional morphology for coronary arteries

OUYANG Zipeng<sup>1</sup>, FANG Bin<sup>1</sup>, WANG Yi<sup>1</sup>, LI Ying<sup>2</sup>

(1. College of Computer Science, Chongqing University, Chongqing 400044, China;  
2. College of Basic Medical Sciences, Third Military Medical University, Chongqing 400038, China)

**Abstract:** Objective: To automatically identify the orifice of coronary sinus and to extract coronary vessels from CT images fast and effectively. Methods: Combined histogram thresholding, three-dimensional erosion & dilation and other image processing technology, we completed automatic identification of the coronary sinus with data analysis and prior knowledge of the medical science. Finally, we extracted coronary artery and did three-dimensional reconstruction. Results: The edges of the automatically segmented coronary artery in all images were distinct and almost matched the original ones. The results also had a good consistency with manual segmentation results. Conclusion: This method can achieve a more accurate automatic extraction of coronary artery and have a high recognition rate of the coronary sinus.

**Key words:** computer applications; coronary artery extraction; three-dimensional morphology; medical image segmentation; coronary sinus

## 0 引言

人类跨入 21 世纪以来, 心血管疾病给全球带来新的严峻挑战, 并已成为全球性的重大公共卫生问题。从 CT 图像中提取冠脉血管, 并分析序列中血管参数及运动信息, 从而发现异常, 对于揭示心血管疾病具有重要意义<sup>[1-2]</sup>。利用冠脉血管三维重构技术获得的三维血管空间结构, 不仅可以精确定位病变的空间位置, 而且可以应用于虚拟规划及手术导航中, 提高临床手术的质量和成功率。心血管分割是正常组织和病变组织的三维重建、定量分析等后续操作的基础, 也是临床医学应用的瓶颈。分割的准确性对医生

基金项目: 国家自然科学基金 (61190122); 国家科技支撑计划 (2012BAI06B01)

作者简介: 欧阳自鹏 (1992—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 模式识别与图像处理

通信联系人: 房斌, 教授, 主要研究方向: 模式识别、图像处理、文本处理等. E-mail: fb@cqu.edu.cn

判断疾病的真实情况并作出正确的诊断计划至关重要。经过多年发展,研究者们提出了较多的冠脉血管提取并三维重构方法,包括基于活动轮廓框架的分割方法<sup>[3]</sup>、基于血管骨架的方法<sup>[4]</sup>、基于分水岭分割方法<sup>[5]</sup>、基于血管跟踪的方法<sup>[6]</sup>、基于概率决策方法<sup>[7]</sup>和基于混合图谱的方法<sup>[8]</sup>等。

在这些方法中,基于跟踪方法人工干预过多,时间复杂度高,而其他方法对图像阈值的力度要求过高,容易产生异常值,精度不高,这些因素导致了冠脉分割的准确度和自动化程度不高。文章将冠脉图像信息与医学先验知识紧密结合,提出基于三维形态学的冠脉血管自动分割方法。首先利用直方图自动进行阈值分割,再利用冠脉的三维特性,自动进行冠脉开口点截取,分离心房等部位,进而实现较为理想的对冠状动脉的全自动分割。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料来源

采用由第三军医大学西南医院提供的数名健康自愿者的胸腔 CT 图像集作为实验材料。图像格式为 DICOM, 包含多个时相点的图像集, 相邻图片层间距为 0.4 mm, 图像分辨率为 512 像素×512 像素, 图像集编号为 00001~00200 不等。

### 1.2 方法

针对 CT 图像灰度特性和冠脉成像特点, 提出一套具有针对性的数据处理方法。整个提取流程如图 1 所示。首先, 对原始 CT 序列进行图像阈值处理, 再根据三维形态学操作得到初始的分割数据和冠状窦口, 最后通过切面剪裁操作得到最终的冠脉。

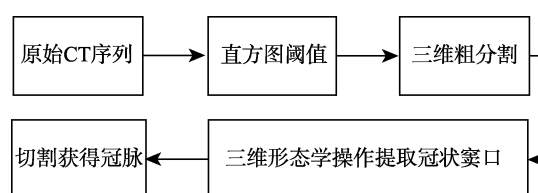


图 1 冠脉血管自动提取流程示意图

Fig. 1 Flow chart of automatic coronary artery extraction

#### 1.2.1 直方图阈值

图像直方图是灰度级的函数, 描述的是数字图像中每一灰度级及其出现频率间的统计关系。直方图阈值, 即根据图像的组成结构 and 应用需求将图像划分为若干个互不相交的子区域的过程。以区域为对象进行分割, 以相似性原则作为分割的依据, 将各像素划归到相应区域。

由于冠脉血管在成像时注入了造影剂, 因此在 CT 图像中, 密度值较高。对密度值的直方图进行观察, 可知冠脉血管密度值集中在直方图高亮度部分, 即集中在直方图靠高亮度的波中, 因此可利用直方图阈值法, 通过自动搜索最高密度值的波峰及该波起始处位置或手动调节窗宽窗位观察, 就可得到分割阈值, 实现阈值分割。

为便于处理, 窗宽 Width 为直方图高亮的波宽度; 数据的中心值, 用窗位 Level 表示。对于人体器官获得的某个值, 如果小于某个值, 可转换成位图图像的黑色, 即 0 值; 如果大于某个值, 可转换成位图图像的白色, 即 255 值。设初始像素值为  $x$ , 转变后像素值为  $y$ , 则具体公式为

$$\begin{cases} y = 0, & x \leq \text{Level} - (\text{Width} / 2); \\ y = [x - (\text{Level} - \text{Width} / 2)] \times 255 / \text{Width}, & x \in (\text{Level} - (\text{Width} / 2), \text{Level} + (\text{Width} / 2)); \\ y = 255, & x \geq \text{Level} + (\text{Width} / 2). \end{cases}$$

图 2 所示为直方图阈值前后对比的结果, 可以观察到, 经过直方图阈值后, 感兴趣区域得到明显的增强, 方便下一轮准确分割。

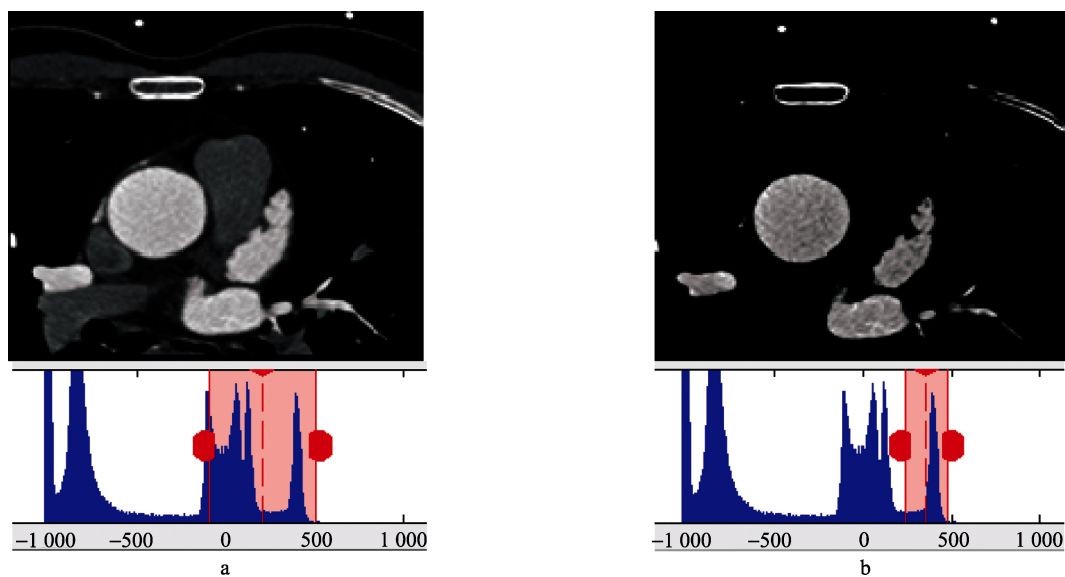


图2 直方图阈值前后对比图（像素）

Fig. 2 Charts before and after histogram threshold (pixel)

a—直方图阈值前图像；b—直方图阈值后图像

a-Chart before histogram threshold; b-Chart after histogram threshold

### 1.2.2 三维预分割

根据上个步骤得到的分割阈值，得到了心脏冠脉大概的灰度范围，保留此范围内像素值，其余的根据相关公式置为 0 或 1。为实现血管的预分割，此处引入了三维阈值分割和区域增长操作。由于噪声和灰度不均，简单的阈值分割可能会使图像空洞和过分割，导致结果不准确。这里引入三维区域增长操作，将像素值属性相似的相邻点合并到此区域。设原始有效像素点集合为  $O$ ， $O$  中有一有效像素点  $P$ ，其邻接点的集合为  $L_{26}$ ，有一需判断的点为  $q$ ，满足相似性度量  $S$ ，即  $P$  与  $q$  像素值差的绝对值在规定的范围内，判断公式为  $P \in O, q \in L_{26}$ ，如果  $q$  满足  $S$ ，则  $O = O + q$ 。这两步操作将冠脉血管粗略地提了出来，效果如图 3a 所示。

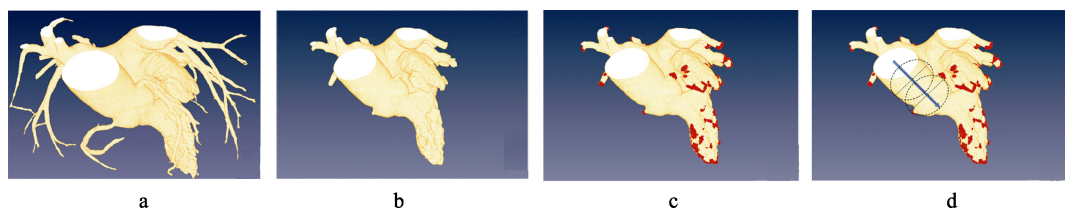


图3 不同分割阶段图示

Fig. 3 Different stages of segmentation

a—预分割图；b—三维主动脉部分；c—开口疑似点（以红色标记）；d—探寻窦口示意图

a-Pre-split; b-Three-dimensional aorta area; c-Suspected opening points (marked in red); d-Search the coronary sinus

### 1.2.3 三维形态学操作提取冠状窦口

通过对粗糙分割结果的观察可以发现，冠脉血管分支相对于主动脉来说，具有细长的特点。通过三维腐蚀操作易于将细小的血管完全腐蚀掉。再通过恢复性膨胀操作就可以得到除细长分支之外的主动脉部分（如图 3b 所示）。通过将原体数据和腐蚀后数据进行减操作得到腐蚀掉的分支，最后根据邻接关系

得到疑似点（如图 3c 所示）。此处，使用结构模板  $M$  对体数据  $A$  进行腐蚀得到体数据  $B$ ，即

$$B = M \otimes A = \{x, y, z \mid A_{xyz} \subseteq M\};$$

使用结构模板  $M$  对体数据  $B$  进行膨胀得到体数据  $C$ （如图 3b 所示），即

$$C = M \oplus B = \{x, y, z \mid B_{xyz} \cap C \neq \emptyset\};$$

减操作得到腐蚀掉数据  $D$ ，即

$$D = A - C;$$

其中，结构模板  $M$  为  $m \times n \times s$  的三维算子，根据不同数据可以自由设置以达到最好的结果，根据 30 套实验数据的统计学分析，其中以  $9 \times 9 \times 9$  的三维算子最为适合。

由于数据中具有大量冗余信息，上一步得到的开口疑似点过多。如何甄别出准确的开口点是一个难题。本文根据医学先验知识，可以看出心脏主动脉是平滑的，形态也保持接近圆柱。开口点总是在主动脉中心线一定半径内，且其所映射的在上下几层的点必在主动脉所在层区域内。根据此信息由种子点所在层向血管延伸层遍历（方法如图 3d 所示），搜索到准确的 2 个冠状窦口就结束，具体的算法框图如图 4、图 5 所示。

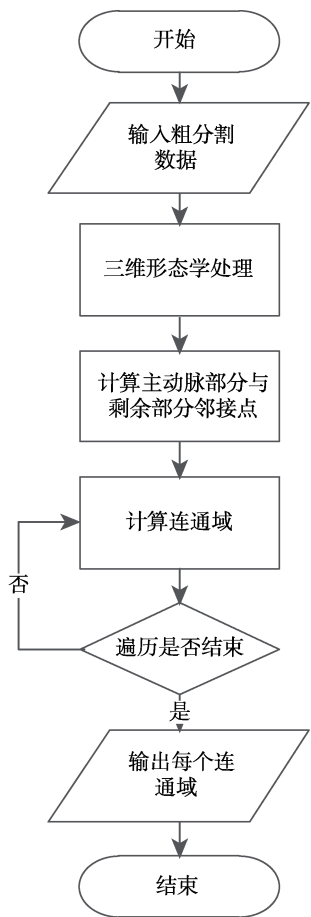


图 4 邻接点获取流程图  
Fig. 4 Flow chart of adjacent points acquire

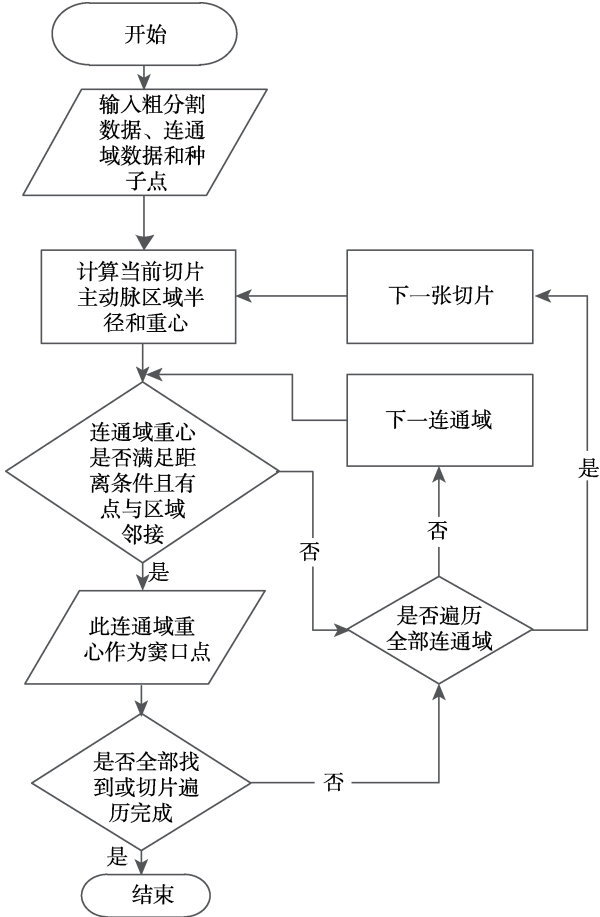


图 5 冠状窦口探寻流程  
Fig. 5 Flow chart of coronary sinus search

#### 1.2.4 切割获得冠脉

由图 6a 可以看出，根据找出的窦口点，只要选取合适的角度进行切割，就可以将冠脉血管与杂质进



行分隔，达到分割的目的。切面是 2 个窦口点和计算出来的点所构成的平面。设这 2 个窦口点为  $X_1(px_1, py_1, pz_1)$  和  $X_2(px_2, py_2, pz_2)$ ，则第 3 个点的计算方法为

$$X_3 = (\min(px_1, px_2), \max(py_1, py_2), \text{mean}(pz_1, pz_2)).$$

由于三点构成一个平面，通过这个面（如图 6b 所示），对预分割后的图像进行切割，最终去除杂质得出分割的数据，结果如图 6c 所示。

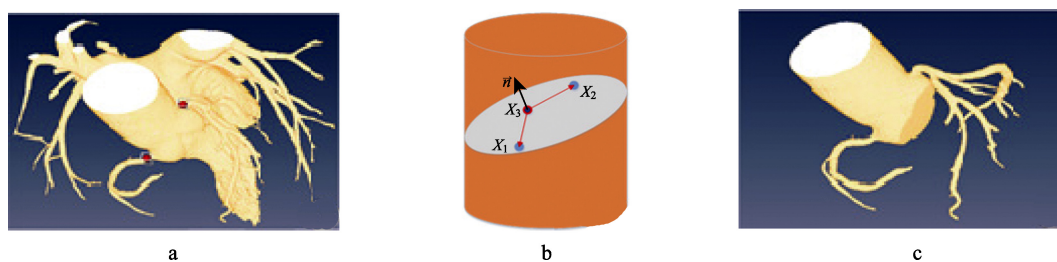


图 6 冠状窦口提取后的分割结果

Fig. 6 Coronary sinus segmentation after extraction

a—冠状窦口检测结果（以红色小球标志）；b—切割的平面示意图；c—切割后结果图

a-Coronary sinus ostium result (marked by two red balls); b-Cut plan view; c-Results after cutting

### 1.3 分割效果评价标准

为进一步验证算法的准确性，邀请医学专家对原始实验数据进行手工精细分割，以此作为分割标准，并将其与文章算法分割结果进行实验对比。通过三维显示后的对比分析得出分割的有效性与一致性程度。

## 2 结果

### 2.1 分割工具及过程总结

基于三维形态学的冠脉血管分割算法在 Visual Studio 2013 中实现，通过 Open Inventor 库实现三维重建。直方图阈值方法可以有效地增强感兴趣区域，提高分割准确性。通过三维形态学操作可以准确提取出冠状窦口，基于冠状窦口得到切割平面，可以平滑地将杂质和冠脉分离开来，最终得到准确的冠脉血管。

### 2.2 分割结果评估

如图 7 所示，多套数据运用本文方法自动分割得到的冠状动脉在轮廓形态上与相应的原始图像匹配度好。同时，在同一视角观察，与手动分割结果相比，本文分割结果较为平滑，两者的血管脉络和细密程度基本一致，且无多余的杂质残留，一致性程度高。

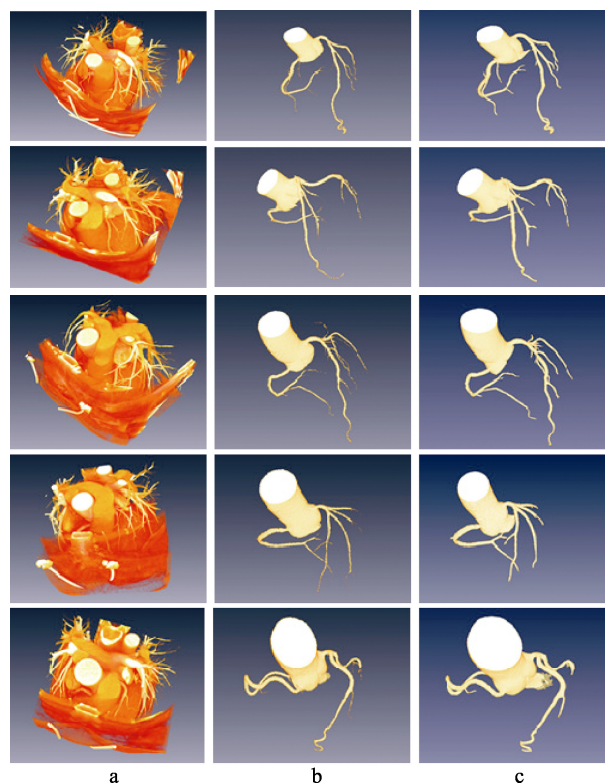


图 7 专家分割与本文分割对比图

Fig. 7 Comparison chart between experts split and the proposed algorithm split result

a—原数据；b—专家手动分割结果；c—本文分割结果  
a-Raw data; b-Experts manual split results; c-Proposed algorithm split results

### 3 结论

心血管由于存在造影剂分布不均、衰减及曝光不均等复杂情况,由相关设备直接获取的造影图像经常不能清晰地显示血管树的局部和全局结构。现有图像分割技术的研究往往集中在单个方法的改进上,较少结合冠脉血管自身的特点进行分割。本文方法核心内容在于运用三维形态学操作提取冠状窦口并通过冠状窦口进行切面分割。窦口作为冠脉的起源,其定位能够帮助主动脉根部的定位,并建立平面,阻断血液的连通性,将冠脉和比邻的解剖结构区分开来,也可以为其他的基于血管追踪的冠脉提取提供种子点参考依据。同时,得到的冠状窦口可作为影像学数据为心导管术提供参考,为临床行逆行灌注心脏造影和消融导管的插入等技术提供依据,了解窦口坐标可以获得病人病理信息,为初期的诊断提供判断依据,若应用于临床实践,将有助于提高心导管送入的成功率。

#### [参考文献] (References)

- [1] 范丽娟,张立仁,于铁链. CT值分割技术在冠状动脉钙化性斑块研究中的应用[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2013, 19(2): 140-143.  
FAN L J, ZHANG L R, YU T L. The significance of CT value segment technology in individual coronary artery calcified plaque[J]. Chinese Computed Medical Imaging, 2013, 19(2): 140-143. (in Chinese)
- [2] 邹利光,戴书华,张冬,等. 冠状动脉起源异常多层螺旋CT诊断及临床意义[J]. 第三军医大学学报, 2010, 32(11): 1216-1219.  
ZOU L G, DAI S H, ZHANG D, et al. Diagnosis of abnormal coronary artery origin with multislice spiral CT and its clinical significance[J]. Acta Academiae Medicinae Militaris Tertiae, 2010, 32(11): 1216-1219. (in Chinese)
- [3] WANG Y, LIATIS P. Automatic segmentation of coronary arteries in ct imaging in the presence of kissing vessel artifacts[J]. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 2012, 16(4): 782-788.
- [4] FU L, SHI L, KANG Y. Identification of incorrect segmentation and centerline correction of coronary arteries in CT angiographic images[C]//2012 International Conference on Information and Automation (ICIA). Shenyang: IEEE, 2012: 342-348.
- [5] LAVI G, LESSICK J, JOHNSON P C, et al. Single-seeded coronary artery tracking in CT angiography[C]//Nuclear Science Symposium Conference Record. IEEE, 2004: 3308-3311.
- [6] WU J, GILES J, FERNS G, et al. Automated coronary artery tracking of low-axial resolution multi slice CT[C]//Nuclear Science Symposium Conference Record (NSS/MIC). Knoxville, TN: IEEE, 2010: 2992-2995.
- [7] 张朝霞,李宏霄,陈晓冬,等. 基于概率决策和区域生长的冠状动脉三维分割[J]. 天津大学学报, 2011, 44(5): 454-457.  
ZHANG C X, LI H X, CHEN X D, et al. 3D segmentation of coronary arteries based on probabilistic decision and region growing[J]. Journal of Tianjin University, 2011, 44(5): 454-457. (in Chinese)
- [8] MEDRANO-GRACIA P, ORMISTON J, WEBSTER M, et al. Construction of a coronary artery atlas from CT angiography[C]//Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention-MICCAI 2014. Boston, MA: Springer International Publishing, 2014: 513-520.