

# 基于 CT 心脏图像的腔体区域分割新算法<sup>①</sup>

尹慧平<sup>1</sup>, 张耀楠<sup>1</sup>, 姚全珠<sup>2</sup>, 何颖<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(西安思源学院 电子信息工程学院, 西安 710038)

<sup>2</sup>(西安理工大学 计算机科学与工程学院, 西安 710048)

**摘要:** 在心脏图像处理中, 为解决心脏四腔过分割问题, 使用基于直方图的多阈值分割和标记分水岭分割相结合的新方法。由于 CT 心脏腔体区域灰度十分相似, 组织相互连通, 采取单一阈值分割无法得到目标区域, 新算法使用多阈值分割, 根据图像对应的直方图选择合适的阈值, 并将分割结果作为基于标记的分水岭分割算法的输入图像, 最终获得心脏的腔体区域, 最后, 通过重建得到左心房心室的三维结构图。而与其他分水岭改进方法相比, 该算法以基于直方图的多阈值分割为前提, 标记提取更为准确, 目标组织边界清晰, 能够获得更加理想的分割结果, 有效降低了仅使用分水岭算法存在的过分割现象。

**关键词:** 图像处理; 多阈值分割; 标记分水岭; 心房心室分割

引用格式: 尹慧平, 张耀楠, 姚全珠, 何颖. 基于 CT 心脏图像的腔体区域分割新算法. 计算机系统应用, 2017, 26(11): 292-295. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/5838.html>

## New Algorithm for Segmentation of Cavity Region Based on CT Cardiac Image

YIN Hui-Ping<sup>1</sup>, ZHANG Yao-Nan<sup>1</sup>, YAO Quan-Zhu<sup>2</sup>, HE Ying<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Siyuan University, Xi'an 710038, China)

<sup>2</sup>(College of Computer Science and Technology, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** To solve the problem of heart cavity over-segmentation in image processing, a new algorithm is proposed. It combines a new multi-threshold segmentation based on histogram with marker-based watershed segmentation algorithm. Because CT heart cavity region gray values are very similar and the heart tissues are connected with each other, it can't get the target area with the traditional threshold segmentation. The appropriate threshold values are selected according to the corresponding histogram of the CT images in new multi-threshold algorithm, and the segmentation results can be used as input images of marker-based watershed algorithm, eventually the cavity area is constructed via the three-dimension reconstruction. Compared with other methods, the segmentation result is more accurate, and the boundary is clear because of the use of multi-threshold based on histogram. It effectively reduces the over segmentation if only the original watershed algorithm is used.

**Key words:** image processing; multi-threshold segmentation; maker-based watershed; atrial ventricular segmentation

近年来, CT 成像技术发展迅速, 在医院中使用非常广泛, 能有效提高医生的诊断效率, 应用价值较高<sup>[1]</sup>. 图像分割是医学图像处理的关键步骤<sup>[2]</sup>, 心脏 CT 图像由于受心脏舒张、收缩以及血液的流动等影响, 会导

致心脏 CT 图像出现弱边界、伪影、局部梯度极大值区域等现象, 人们感兴趣的目标组织如心室、心房等区域灰度相似, 相互连通等, 很难精确提取特定组织<sup>[3]</sup>. 若直接使用阈值分割或分水岭分割算法对心脏图像分

① 基金项目: 陕西省教育厅专项科研项目(17JK1074); 西安思源学院校级重大科研项目(XASY-B1601); 陕西省自然科学基金研究计划(2017JM8085)

收稿时间: 2016-09-21; 修改时间: 2016-10-27; 采用时间: 2016-11-10

割, 往往存在严重的过分割现象. 因此, 国内外很多研究者对现有分割算法进行改进, 如通过分割前预处理, 或者分割后处理<sup>[4,5]</sup>, 使用改进的分水岭算法, 效果得到进一步改善. 基于以上研究, 结合心脏形态学特征和图像本身的噪声等特点, 提出基于多阈值分割的标记分水岭新算法, 最终得到理想的分割结果.

## 1 基于多阈值分割的标记分水岭算法

为更好地提取 CT 心脏图像的心室与心房, 新算法在基于直方图的多阈值分割基础上, 结合标记分水岭算法<sup>[6]</sup>获得心脏的腔体区域. 如果仅使用阈值分割方法, 无法准确区分心脏图像中每个组织区域, 而是简单地获得前景和背景区域. 而结合心脏图像灰度特征的多阈值分割方法能根据直方图的波谷个数及灰度特点, 更加精确地标记出心脏的各个组织区域, 以便于后期的分水岭算法分割.

以基于直方图的多阈值分割算法为前提进行分水岭算法, 较好地结合了分水岭算法的适用分割范围, 对连通区域的分割结果较为理想, 相比于直接对心脏图像进行分水岭算法分割, 更加有效地避免了过分割现象, 提取出轮廓清晰的心脏腔体区域.

### 1.1 新算法原理

新算法采用基于直方图的多阈值分割算法进行粗分割, 主要结合 CT 心脏图像的灰度特征, 在单阈值分割算法的研究基础上, 提出基于直方图的多阈值分割算法得到心脏的组织连通区域, 再进一步结合标记分水岭算法的适用范围对获得的腔体连通区域分割得到心脏的左腔体部分, 即左心房及左心室区域. 新算法相比于传统的阈值分割, 能够更加准确地对灰度图像进行不同组织的标记而不是单一的进行目标与背景的划分, 根据直方图波谷的个数选取阈值, 获得目标组织的灰度范围; 相比于单独使用标记分水岭分割方法, 该算法能有效避免了严重的过分割现象, 而是结合分水岭算法适用于连通性较强的区域分割特点, 获得边界较为清晰的组织区域.

### 1.2 算法流程

将基于特征标记的分水岭算法与基于直方图的多阈值分割算法相结合, 提取心脏心室心房, 在某种程度上结合了心脏图像的形态学区域特征, 获取心脏组织的连通区域, 并根据多阈值分割结果提取心脏标记, 以此为前提进行分水岭分割, 提取心脏的左腔部分.

## 1.3 分割思路及步骤

首先通过形态学操作对图像滤波处理, 重构图像; 对重构后的图像进行多阈值分割, 选取合适的阈值, 得到心脏大致区域; 根据心脏组织的形态学特征, 对心脏腔体进行特征标记; 根据标记特征, 对梯度图像修改局部最小值后应用分水岭分割算法, 得到心室心房目标区域. 相比于 Otsu 阈值分割, 多阈值分割算法可以标记不同灰度区域, 得到心脏组织的连通区域, 并结合腔体特征, 进行分水岭算法分割, 得到包含主动脉的左心房心室腔体, 三维重建得到结构图. 算法不但抑制了过分割现象, 同时也有效保护了腔体间的边界信息, 得到较为理想的分割结果.

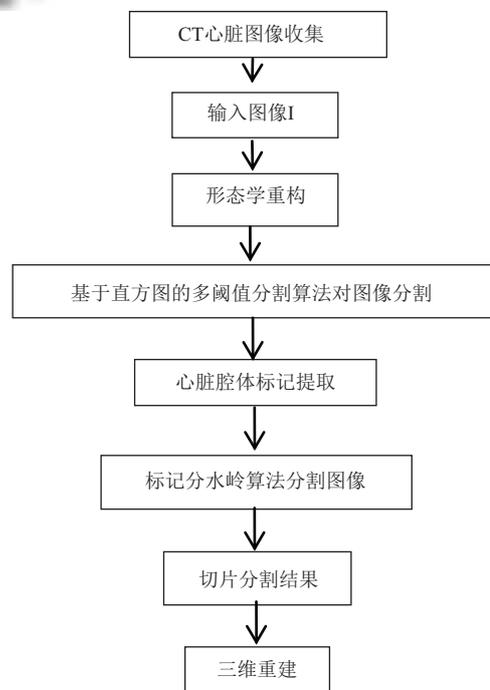


图1 新算法流程图

## 2 多阈值分割算法

Otsu 算法应用广泛, 而且简单易用. 假设灰度图像的灰度级为  $L$ , 可将图像按灰度级分为两类  $L_1$  和  $L_2$ , 即:

$$[1, \dots, n], [n+1, \dots, L]$$

根据统计学意义, 当类间特性差值最大或者类内特性差值最小时, 图像能够获得最好的分离性. 假设两类灰度的均值为  $\mu_1$ 、 $\mu_2$ , 及灰度分布概率之各为  $\omega_1$ 、 $\omega_2$ , 整幅图像的灰度均值为  $x_T$ , 即分割阈值. 那么类间方差便可表示为:

$$\sigma^2 = \omega_1(\mu_1 - \mu_T)^2 + \omega_2(\mu_2 - \mu_T)^2$$

当类间方差取最大值时,  $t$  值即为最优阈值, 即:

$$t = \text{Arg.Max} \{ \sigma^2(t) \}, 1 \leq t < L$$

根据以上方程式, 可以将阈值分割的方法推广到多阈值的图像分割<sup>[7]</sup>. 对于像 CT 心脏图像这种灰度级较大而且各组织灰度较相近的图像, 需要将图像分割为  $N$  类, 即存在  $N-1$  个阈值, 当类间方差  $\sigma^2$  最大时, 可得到一组最优阈值.

结合心脏 CT 图像中的组织特征, 可以确定  $M$  的取值, 提取目标组织所在的类, 得到包含腔体区域的多阈值分割结果.

### 3 基于标记的分水岭分割算法

由于传统的分水岭分割算法存在严重的过分割现象, 为解决过分割问题, 根据心脏图像特征, 标记的提取最为关键. 算法采取以多阈值分割结果作为分水岭算法的分割对象, 提取图中最大连通区域, 获得前景标记. 并将获得的特征标记强加于形态学梯度图像上, 去除过多的伪局部极小值, 求取 CT 心脏图像的全局最小值. 最后进行分水岭分割, 以提取目标区域的边界, 获得轮廓较为清晰的腔体区域.

## 4 实验结果与分析

本实验数据由沈阳军区总医院提供, 为心脏的 CT 成像结果, 共 287 张 CT 切片. 图像存储格式为 DICOM, 实际处理时, 需分片读取, 并经分割处理后对其三维重建, 得到左腔包括左心房和左心室的立体结构图.

### 4.1 形态学重构及形态学梯度结果

对灰度图像切片进行形态学膨胀和腐蚀操作, 是为了消除一些细小的斑点, 切断一些细长的搭接, 而起到区域分离的作用, 并对一些小的缺口进行填充, 搭接不该存在的间隔等, 最终对这些操作后的图像重构得到更加清晰的待分割对象<sup>[8,9]</sup>.

### 4.2 基于直方图的多阈值分割结果

如果采用自动阈值分割方法获取心脏的组织区域, 将会产生严重的过分割现象, 把灰度范围不同的心脏组织统一划分到目标区域, 无法有效识别目标组织, 分割结果如图 3 所示.

而采用基于直方图的多阈值分割方法作为分水岭算法的分割前提, 能够准确标记多组织的灰度范围, 有效提取目标组织的连通区域, 下面以第 0、52 张 CT 心脏切片为例, 分割效果如图 4、图 5 和图 6 所示.

由图 4 可知, 根据直方图中的波峰与波谷出现次数, 把切片图像的灰度级分为 5 类, 可求取 4 个阈值, 根据灰度标记结果, 较好地获得心脏的腔体区域.

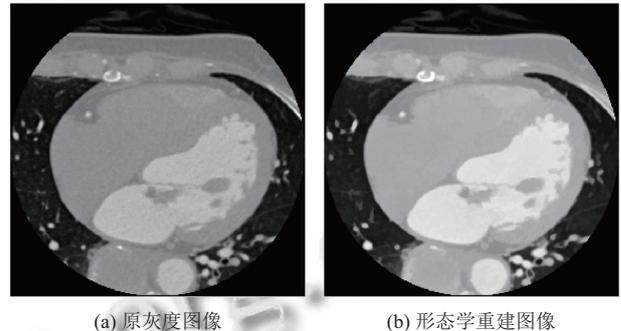


图 2 原始图像与形态学重构图像对比

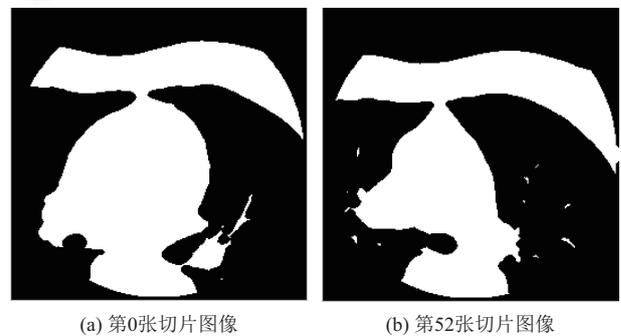


图 3 使用 Otsu 算法对第 0、52 张切片图像的分割结果

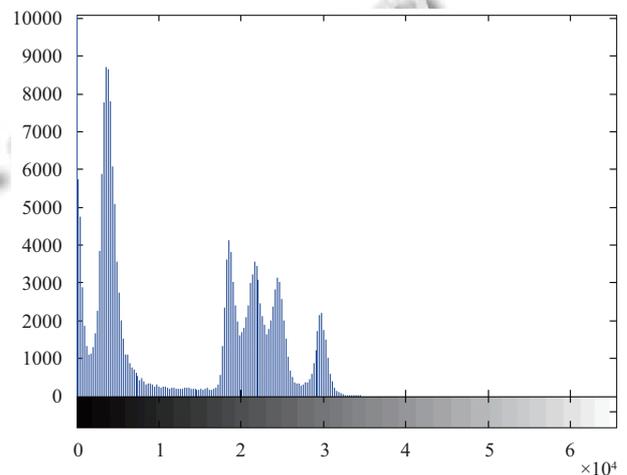


图 4 第 0 张切片直方图

### 4.3 基于多阈值的标记分水岭分割结果

以多阈值分割结果为输入对象, 进一步分水岭算法分割. 结合心脏腔体特征提取标记, 获得前景标记, 并强制修改梯度函数的局部极小值, 最后进行分水岭算法分割获得切片的分割结果, 如图 7 和图 8 所示.

图9 是对 287 张心脏切片分割后, 进行三维重建后的结果。

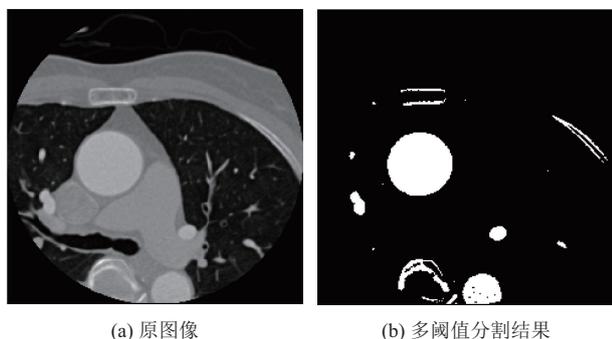


图5 第0张切片的灰度图及多阈值分割结果

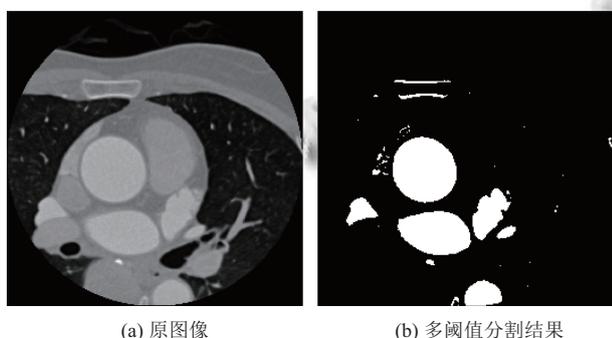


图6 第52张切片的灰度图及多阈值分割结果

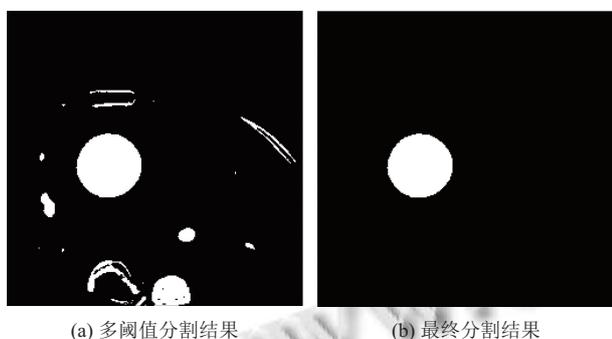


图7 第0张切片的分割结果

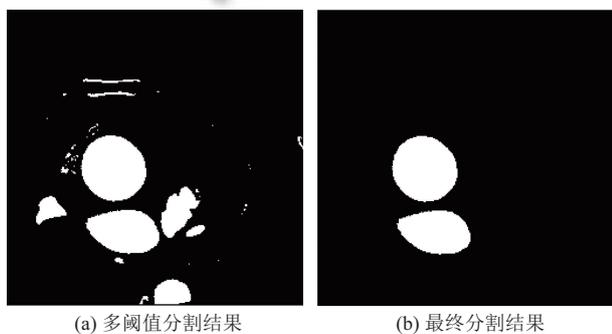


图8 第52张切片的分割结果

由图9可知, 新算法对各切片分割后的三维重建效果较好, 获得的左心房和左心室的造影区域较为清晰, 去除了周围的脊椎和肋骨等区域, 仅包含主动血管, 分割结果较好。

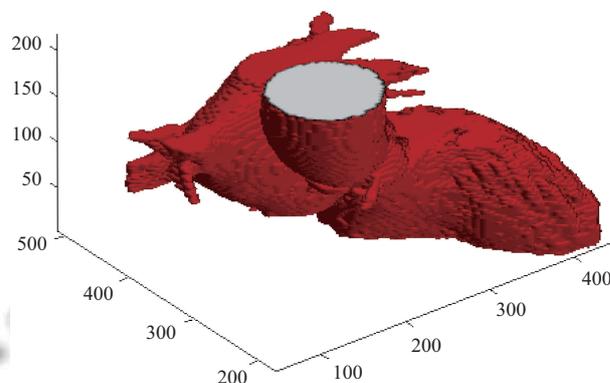


图9 左腔三维结构图

## 5 结论

算法在标记分水岭算法的基础上, 根据 CT 心脏图像形状特征和灰度值分布特点, 结合多阈值分割新算法, 以多张 CT 心脏图像切片为例进行实验, 较为准确地提取心室心房. 此算法解决了分水岭算法分割图像存在的过分割现象和阈值分割存在的不精确问题, 运用多阈值分割算法和标记分水岭算法对图像进行分割, 更为清晰地提取了目标组织, 分割效果较好。

## 参考文献

- 1 王怡宁, 金征宇, 孔令燕, 等. 双源 CT 冠状动脉成像: 与 64 层螺旋 CT 初步比较. 中国医学影像技术, 2007, 23(10): 1503-1506. [doi: 10.3321/j.issn:1003-3289.2007.10.022]
- 2 李志刚. 心脏 CT 图像分割算法研究[硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2014. 20-56.
- 3 刘利雄, 马忠梅, 赵恒博, 等. 一种基于主动轮廓模型的心脏核磁共振图像分割方法. 计算机学报, 2012, 35(1): 146-153.
- 4 Xu XY, Xu SZ, Jin LH, et al. Characteristic analysis of Otsu threshold and its applications. Pattern Recognition Letters, 2011, 32(7): 956-961. [doi: 10.1016/j.patrec.2011.01.021]
- 5 朱萍, 梅婕, 朱晓勃, 等. 双边滤波和标记分水岭的 CT 心脏图像分割. 计算机工程与应用, 2015, 51(8): 170-173.
- 6 高丽, 杨树元, 李海强. 一种基于标记的分水岭图像分割新算法. 中国图象图形学报, 2007, 12(6): 1025-1032. [doi: 10.11834/jig.200706166]
- 7 Liao PS, Chen TS, Chung PC. A fast algorithm for multilevel thresholding. Journal of Information Science and Engineering, 2001, 17(5): 713-727.
- 8 黄展鹏, 易法令, 周苏娟, 等. 基于数学形态学和区域合并的医学 CT 图像分割. 计算机应用研究, 2010, 27(11): 4360-4362.
- 9 张艳. 基于数学形态学的医学图像分割方法研究[硕士学位论文]. 重庆: 西南大学, 2011.