

文章编号: 2095-2163(2020)10-0157-04

中图分类号: TP391

文献标志码: A

# 基于区域生长算法人工心脏瓣膜有效开口面积测量

季亚波, 吴明晖, 周 围, 鄢 鹏

(上海工程技术大学 机械与汽车工程学院, 上海 201620)

**摘要:**人工心脏瓣膜从研制到临床应用必须通过体外血流动力学性能检测和评价,有效开口面积是重要指标之一。传统有效开口面积测量方法自动化程度低,人工干预度高。为了提高人工心脏瓣膜有效开口面积的测量效率,本文提出了基于自动种子点设置的区域生长算法有效开口面积计算方法。通过建立搜索窗格,改进的区域生长算法对开口面积的分割有较好的适应性。结果表明:该方法能够准确计算出人工心脏瓣膜不同开合状态下开口面积,为分析开口面积与流量、跨瓣压差的关系提供数据支撑。

**关键词:**人工心脏瓣膜;有效开口面积;自动种子点;区域生长

## Measurement of effective orifice area of artificial heart valve based on region growing algorithm

Ji Yabo, WU Minghui, ZHOU Wei, YAN Peng

(Shanghai University of Engineering Science, School of Mechanical and Automotive Engineering, Shanghai 201620, China)

**[Abstract]** From the development to clinical application of artificial heart valve, it is necessary to measure and evaluate the hemodynamic performance in vitro, and the effective orifice area is one of the important indexes. The traditional effective orifice area measurement method has low automation and high manual intervention. In order to improve the efficiency of measuring the effective orifice area of artificial heart valve, a region growing algorithm based on automatic seed point setting is proposed. Through the establishment of search pane, the improved region growing algorithm has better adaptability to the segmentation of orifice area. The results show that this method can accurately calculate the orifice area of the prosthetic heart valve under different opening and closing conditions, and provide data support for the analysis of the relationship between the orifice area, flow rate, and cross valve pressure difference.

**[Key words]** Artificial heart valve; Effective orifice area; Auto seed point; Region growing

### 0 引言

人工心脏瓣膜置换手术是治疗瓣膜性心脏病患者最有效的医疗措施。从研制到投入临床使用,人工心脏瓣膜需要经过体外流体动力学性能检测和评价,有效开口面积则是该检测和评价的重要指标之一。人工心脏瓣膜结果和功能有其固有的特殊性,心脏瓣膜开口速度和大小受到搏出量、跨瓣压差的影响,沿用 Gorlin 公式计算开口面积,通过理论分析与试验之后发现,流出系数改变较大,实际值与理论值有较大误差。随着试验设备的完善,图像采集处理系统与人工心脏瓣膜体外脉动脉测试系统相结合,在采集跨瓣压差、流量的同时,实时拍摄人工心脏瓣膜开闭过程中的图像,进一步通过图像处理计算得到人工心脏瓣膜的有效开口面积,并就有效开口面积与流量、跨瓣压差的关系进行分析。

目前人工心脏瓣膜有效开口面积的计算主要依赖于人工后期处理,步骤繁琐,人工干预程度高,效率低下。因此,探讨提高人工心脏瓣膜的有效开口

面积的测量效率和自动化程度的新方法有重要意义。

本文通过图像处理对采集到的心脏瓣膜开合运动过程进行分析,通过自动种子点选取的区域生长算法计算人工心脏瓣膜有效开口面积。

### 1 研究内容和方法

#### 1.1 系统组成及实验环境

人工心脏瓣膜体外脉动脉测试系统主要包括血液循环体外模拟装置、信号放大仪、电磁流量计、CCD 相机、图像采集卡等,如图 1 所示。

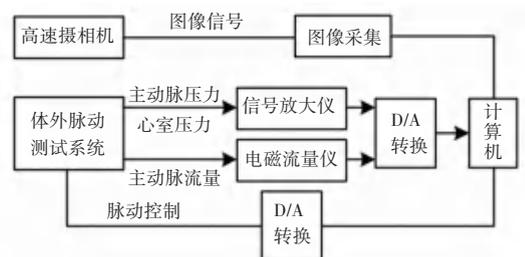


图 1 测试系统结构图

Fig. 1 Test system structure diagram

**作者简介:**季亚波(1995-),男,硕士研究生,主要研究方向:运动控制。

**收稿日期:**2020-04-06

血液循环体外模拟装置是与上海微创医疗器械(集团)有限公司合作研发,该装置通过模拟人体全身循环脉动模型,可以产生近似生理条件下的脉动压力和流量波形,其装置如图2所示。图像采集使用的是OLYMPUS i-SPEED LT高速摄像机,采集速率为500帧/s,分辨率为800×600;图像处理环境为Windows 10操作系统与MATLAB R2016b软件平台。实验测试的人工心脏瓣膜由上海微创医疗器械(集团)有限公司研发提供。

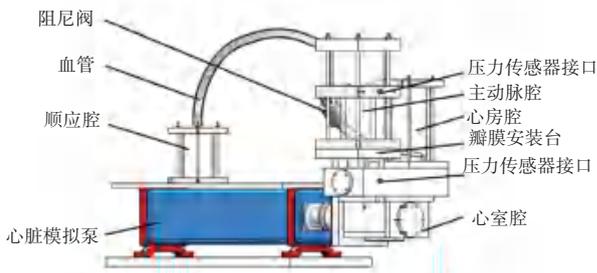


图2 血液循环体外模拟装置

Fig. 2 Extracorporeal simulation device of blood circulation

## 1.2 图像预处理

工心脏瓣膜开闭速度较快,同时受摄像机分辨率及光源照射等因素的影响,摄入的图像存在几何畸变、边缘模糊、图像亮度分布不匀等问题,影响有效开口面积的计算。通过图像的预处理可以消除无关信息,突出环境背景下的特征参数,增强目标信息的可识别性,有效降低了识别算法的复杂度。

### 1.2.1 图像灰度化

图像灰度化处理是将三通道的RGB转化为一通道的灰度图,灰度变化范围缩减为 $0 \sim 2^8$ ,大大减少图像信息数据量,更好的凸显图像形态学特性。针对人工心脏瓣膜拍摄的图片特性,采用加权平均灰度法对图像进行处理,具有比较好的适应性。

### 1.2.2 形态学处理

形态学图像处理是利用数学形态学从给定图像中提取目标有用图像分量。其基本的运算包括:腐蚀、膨胀、开运算、闭运算、顶帽操作、击中或击不中变化等。

在灰度级图像中,腐蚀和膨胀是利用结构元原点,在每个像素位置上与灰度级图像重合区域进行“最小值”、“最大值”运算,最后的运算效果取决于结构元大小内容以及运算性质。

灰度级图像的开操作,先利用结构元进行腐蚀,随后对所得结果膨胀操作,灰度级图像的闭操作则与之相反。开操作可以平滑图像轮廓,断开较窄的区域,消除细小的孤岛和突刺。闭操作操作可以平

滑图像轮廓,融合狭窄的间断和细长的沟壑,消除小孔,填补断裂。

原始目标灰度级图像中包括开口阴影、钛合金金属支架、人工瓣膜、瓣膜安装橡胶圈以及其他结构,如图3所示。其中,钛合金金属支架与开口阴影部分有部分重合且灰度级相近,直接使用图像分割不能达到预期的分割效果。



图3 原始灰度级图像

Fig. 3 Original gray level image

采用形态学闭操作,对原始目标灰度级图像进行处理,结构元选择半径为7的平面圆盘形的结构元素,如图4所示。经过闭运算处理之后,亮部细节和背景未受影响,暗部特征明显削弱,钛合金金属支架能够成功的从原始目标灰度级图像消除。



图4 形态学闭操作图像

Fig. 4 Morphological closed operation image

经过形态学闭操作之后,开口阴影部分仍然存在一些亮部噪点没有消除,继而采用形态学开操作,结构元选择半径为7的平面圆盘形的结构元素,如图5所示。

经过灰度级图像的闭操作和开操作,在保留开口阴影部分的同时,钛合金金属支架和开口阴影部分的亮部噪点可以从原始目标灰度级图像去除。

## 1.3 区域生长图像分割

### 1.3.1 算法描述

图像分割一般是基于灰度值的二个基本性质:不连续性和相似性。不连续性是基于灰度突变来分割图像,比如图像的边缘;相似性是根据预定的准则

分割图像相似区域<sup>[1-2]</sup>。区域生长算法就是基于灰度值的相似性,根据预先定义的生长准则,将像素或子区域组分割合成为更大区域的过程<sup>[3]</sup>。分割后的同一区域中的像素具有相同的灰度级,两邻接区域的灰度值不同。



图 5 形态学开操作图像

Fig. 5 Morphological open operation image

### 1.3.2 算法思路

区域生长算法主要包括区域生长点的选择、区域生长准则的确定以及终止生长规则的确定。

生长种子点可以基于问题的性质选择一组或者多组。传统的区域生长算法在选择种子点时,需要人为针对不同的图像情况设置不同位置的种子点,增加测试人员的工作量,降低了检测效率<sup>[4-5]</sup>。本文结合人工心脏瓣膜图像特性,可以自动选择种子点进行区域生长计算。

通过观察,首先在图像固定处建立 4×4 的搜索窗格,遍历其中的所有元素,依次获取其灰度值,当有像素点满足作为种子点的灰度要求,选择该点作为区域生长种子点<sup>[6]</sup>;若该搜索窗格中没有满足作为种子点的像素点,则搜索窗格向上平移四个像素位置至①处,依照第一次搜索窗格方法进行种子点获取;其次搜索窗格平移至②、③、④处,直至搜索窗格内有像素点满足作为种子点的灰度要求的像素点;若五个位置搜索窗格都没有符合要求像素点,则说明该时刻人工心脏瓣膜处于闭合状态,开口面积为 0,如图 6 和图 7 所示。

区域生长准则以像素值的相近程度即相似性为判断标准,可基于区域的灰度范围、基于区域形状或性质、基于区域内灰度分布统计。开口阴影与瓣膜有明显的灰度差,因此设置一定的区域的灰度范围为相似标准来确定有效开口阴影区域生长准则。

当不再有像素满足加入区域生长准则时,区域生长就会停止。这就是终止生长规则的确定,代表着区域生长结束。

具体算法流程如图 8 所示,区域生长算法如图

9 所示。

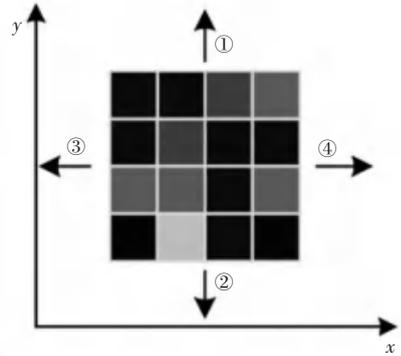


图 6 像素坐标系表示

Fig. 6 Pixel coordinate system representation

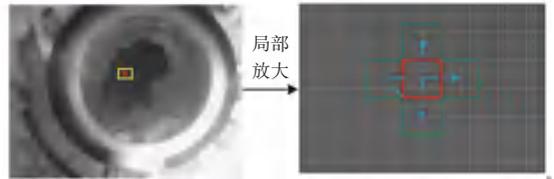


图 7 搜索窗格建立

Fig. 7 Search pane creation

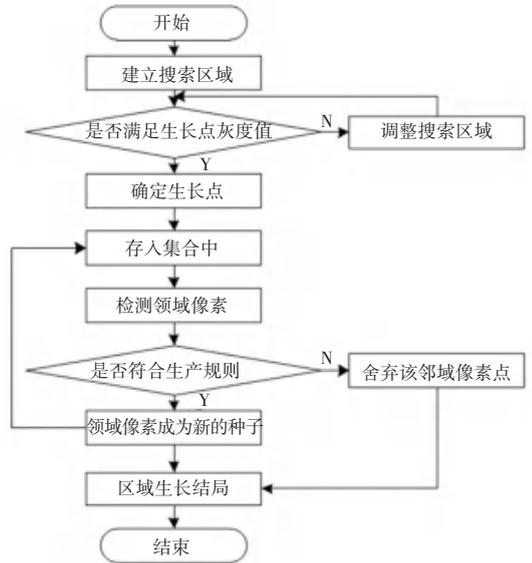


图 8 区域生长算法流程

Fig. 8 Region growing algorithm flow



图 9 区域生长算法结果

Fig. 9 Results of region growing algorithm

## 2 结果与分析

经过图像处理以及区域生长算法分割后的人工心脏瓣膜开口二值化图像可以方便地求出心脏瓣膜开口阴影部分的像素点数。通过提前对相机的标定处理,可以求出实际情况下每一个像素点对应的面积<sup>[7-8]</sup>。人工心脏瓣膜的实际开口面积计算公式(1)为:

$$S_{EOA} = S_1 \times \text{pixels}. \quad (1)$$

其中,  $S_{EOA}$  为人工心脏瓣膜开口面积;  $S_1$  为单个像素的对应的实际面积; pixels 为心脏瓣膜开口阴影部分的像素点数。

在一个心动周期 0.85 s 中,每 0.1 s 对人工心脏瓣膜开口面积进行计算,见表 1。

表 1 不同时刻瓣膜开口面积

Tab. 1 Valve opening area at different times

时间/s	像素点数	开口面积/cm <sup>2</sup>
0.1	9 729	0.14
0.2	55 921	0.80
0.3	57 277	0.82
0.4	55 923	0.80
0.5	55 163	0.79
0.6	45 738	0.65
0.7	22 526	0.32
0.8	4 121	0.06
0.85	0	0

通过分析可得,区域生长算法可以准确计算人工心脏瓣膜有效开口面积。结合心脏运动规律来看,此人工心脏瓣膜在一个心动周期运动过程 0.3 s 时,达到最大开有面积 0.82 mm<sup>2</sup>,超过此规模人工

心脏瓣膜有效开口面积的参考标准 0.7 cm<sup>2</sup>。进一步通过计算出的有效开口面积,可以分析与流量、跨瓣压差的对应关系。

## 3 结束语

为了能够精确、完整地分割出心脏瓣膜开口阴影部分,本文利用区域生长算法,准确计算出人工心脏瓣膜开口阴影部分的像素个数,实现了对有效开口面积的计算;通过建立搜索窗格,实现了种子生长点的自动设置。实验结果表明,基于自动种子点设置的区域生长算法对人工心脏瓣膜有效开口面积测量有很好的适应性,相较于人工分割方法,效率和自动化程度有着显著的提高。

## 参考文献

- [1] 倪豪,郑慧峰,王月兵,等. 基于自动种子区域生长的超声 B 图像缺陷分割方法[J]. 计量学报,2018,39(6):878-883.
- [2] 李仔麒,马慧彬,李殿奎,等. 改进区域生长法的肝部 CT 图像 ROI 提取[J]. 计算机技术与发展,2019,29(1):150-153.
- [3] 蒋秋霖,王昕. 基于区域生长算法的脑肿瘤图像分割[J]. 长春工业大学学报,2018,39(5):490-493.
- [4] 王光磊,王鹏宇,韩业晨,等. 基于 K-means 聚类与改进随机游走算法的冠脉光学相干断层图像斑块分割[J]. 生物医学工程学杂志,2017,34(6):869-875.
- [5] 冈萨雷斯. 数字图像处理第三版[M]. 电子工业出版社,2017.
- [6] J. C., Pasolli, E.. Incorporating edge information into best merge region-growing segmentation[P]. Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2014 IEEE International,2014.
- [7] LEE S, CHO Y, RYU S, et al. Seeded region growing on multi-core system[C]// IEEE International Conference on Consumer Electronics. IEEE, 2014.
- [8] NITHYANANDA C R, RAMACHANDRA A C, Preethi. Review on Histogram Equalization based Image Enhancement Techniques [C]//International Conference on Electrical. IEEE, 2016(1): 2512-2517.
- [3] HE Z, DU Y, WANG L, et al. An alpha-FL algorithm for discovering free loop structures from incomplete event logs[J]. IEEE Access, 2018,6(1):27885-27901.
- [4] RUI L L, ZHANG P, HUANG H Q, et al. Reputation-based incentive mechanisms in crowdsourcing[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2016, 38(7):1808-1815.
- [5] 钱晓东,罗彦福. 基于互信息属性排序的不完整数据聚类算法[J]. 信息与控制,2019,48(1):80-87.
- [6] 王鹏,皮水江. 基于大数据的最优招标方案选取算法[J]. 现代电子技术,2019,42(4):105-108.
- [7] 李顺勇,张苗苗. 一种带权的混合数据聚类个数确定算法[J]. 计算机应用与软件,2019,36(1):284-290.

(上接第 156 页)

子图特征匹配,采用语义特征融合方法,在高维相空间中实现网络源数据的关联规则挖掘,构建基于模糊 C 均值聚类的多模级联分类器,实现数据检测优化。研究得知,采用本文方法进行网络源数据检测的抗干扰性较好,检测准确概率较高,提高了数据的融合调度能力。

## 参考文献

- [1] 何力,丁兆云,贾焰,等. 大规模层次分类中的候选类别搜索[J]. 计算机学报,2014,37(1):41-49.
- [2] 陈文庆,程雪颖. 云计算环境下的资源调度和优化方法[J]. 激光杂志,2016,37(6):115-118.