

学校编码: 10384  
学 号: 200228049

分类号 \_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_  
UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学  
硕 士 学 位 论 文

眼细胞的分割及初步微观可视化

Eye-cell' s Segmentation and Its Elementary  
Microcosmic Visualization

张海燕

申请学位类别: 王博亮 教授

专业名称: 计算机应用

论文提交日期: 2005年5月 日

论文答辩日期: 2005年 月 日

学位授予日期: 2005年 月 日

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2005年 5月

## 厦门大学学位论文原创性说明

兹提交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文而产生的权利和责任。

声明人（签名）：  
年 月 日

## 摘要

医学可视化是科学计算可视化的一个最活跃的领域。它对医学教学、临床诊治、远程医疗等都有深远的意义。医学图像三维重建技术运用计算机图形学和图像处理技术将源于 CT、MRI、显微组织切片等医学二维图像数据重建成三维图像，以直观的方式在屏幕上显示出来。可视化技术应用于显微摄影领域，使人类具有了观察三维微观世界的能力。

本文根据显微镜下采集的彩色眼细胞序列切片图像的特点，采用相应算法对序列图像进行分割，并在此基础上应用体绘制和面绘制技术分别对分割后的眼细胞进行三维重建。基于 PC 机和 Windows 的平台开发了一个眼细胞三维可视化演示系统，提供了一个图形用户界面，支持对三维场景中的物体进行旋转、平移和缩放操作，方便用户从多方位多角度进行观察。

本文的研究工作主要在以下几点：

1. 根据采集到的彩色眼细胞切片图像的特点,提出了基于改进的 Snake 算法的彩色眼细胞边缘检测算法。
2. 并在此基础上，根据序列图像的相关性对序列眼细胞切片图像进行了半自动的分割。
3. 利用分割结果，采用了光线投射体绘制算法和轮廓拼接表面绘制算法，进行了眼细胞的初步微观可视化。

**关键词：**Snake；眼细胞；可视化

## Abstract

Medical Visualization is one of the most active fields of Scientific computing Visualization. The technologies have a great significance in medical teaching, medical diagnosis, therapy planning and Tele-medical. It reconstruct 3D-Regular Data Sets comes from the CT、MRI or Slice to 3D-Image which can be viewed interactively on the screen. With the application of Visualization technologies to the microscope field, people have the ability to perceive the 3D microcosmic world.

Based on the traits of eye-cell slice color image sequence collected under the microscope, this thesis adopts the relative algorithms to segment the images. Then using the results of the segmentation, adopts volume rendering algorithm and face rendering algorithm to visualize the eye cell. Finally, a 3D visualization demo system is developed based on personal computer and Windows operation system. This demo system provides a graphics user interface to rotate, translate and scale the 3D objects.

In this thesis, some research jobs have been done as following aspects:

1. Based on the traits of eye-cell slice color image, this thesis presents an improved Snake model used in the edge detection for eye-cell color images.
2. According to the sequence image's relativity, using this detection algorithm, the image sequence is segmented half-automatically.
3. In the end, with the results of segmentation, the thesis adopts ray-casting algorithm and Contour Connection algorithm to realize the elementary eye-cell microcosmic visualization.

**Key words:** Snake; eye cells; visualization;

# 目 录

第一章 绪论 .....	1
1. 1 本课题的科学意义和国内外研究概况.....	1
1. 2 本课题的研究内容及创新.....	4
1. 3 本文的组织结构.....	5
第二章 数据的制作和图像预处理 .....	7
2.1 数据的制作过程.....	7
2.2 图像预处理及处理流程.....	9
第三章 彩色眼细胞的分割 .....	14
3. 1 医学图像分割综述 .....	14
3.1.1 常用的基于区域的分割算法.....	15
3.1.2 常用的基于边界的分割算法.....	16
3.1.3 Snake 模型.....	18
3. 2 改进的 Snake 模型.....	20
3.2.1 内部能量项.....	21
3.2.2 面积能量项.....	21
3.2.3 彩色图像能量项.....	22
3.2.4 求解最小化能量 $E_{\min}$ 的算法 .....	23
3. 3 受控点的初值设置和排序 .....	24
3. 4 改进的 Snake 结构图 .....	25
3. 5 实验结果 .....	26
3.5.1 规则图形的轮廓提取.....	26
3.5.2 眼细胞彩色图像轮廓提取.....	27
3. 6 序列眼细胞图像的半自动分割 .....	28

---

3. 7 小结.....	31
<b>第四章 眼细胞图像的初步微观可视化.....</b>	<b>33</b>
4. 1 图像三维重建简介 .....	33
4.1.1 表面绘制法.....	33
4.1.2 体绘制法.....	34
4.1.3 两种绘制法的比较.....	35
4. 2 编程工具介绍 .....	36
4.2.1 VolPack 体绘制软件包 .....	36
4.2.2 OpenGL 三维图形工具包.....	37
4. 3 眼细胞图像三维重建算法 .....	40
4.3.1 光线投射算法.....	40
4.3.2 几种轮廓拼接算法.....	42
4.3.3 本文所采用的轮廓拼接算法.....	45
4. 4 实验结果以及小结 .....	46
<b>第五章 结束语 .....</b>	<b>48</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>50</b>
<b>硕士期间发表的论文 .....</b>	<b>52</b>
<b>致谢 .....</b>	<b>53</b>

# Contents

<b>Chapter 1 Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>1. 1 Thesis Scientific Meaning and Research Survey</b> .....	<b>1</b>
<b>1. 2 Thesis Main Content and Contributions</b> .....	<b>4</b>
<b>1. 3 Thesis Outline</b> .....	<b>5</b>
<b>Chapter 2 Data Making and Image Preprocessing</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1 Data making Process</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2 Image Preprocessing and Flow Chart</b> .....	<b>9</b>
<b>Chapter 3 Color Eye-Cell's Segmentation</b> .....	<b>14</b>
<b>3. 1 Medical Image Segmentation Survey</b> .....	<b>14</b>
3.1.1 Common Segmentation based on Area .....	15
3.1.2 Common Segmentation based on Edge .....	16
3.1.3 Snake Model .....	18
<b>3. 2 Improved Snake Model</b> .....	<b>20</b>
3.2.1 Internal Energy Item .....	21
3.2.2 Area Energy Item .....	21
3.2.3 Color Image Energy Item.....	22
3.2.4 Algorithm of Minimizing Energy Term $E_{min}$ .....	23
<b>3. 3 Initialization and Sorting of Controlled Points</b> .....	<b>24</b>
<b>3. 4 Improved Snake Model chart</b> .....	<b>25</b>
<b>3. 5 Results of Experiment</b> .....	<b>26</b>
3.5.1 Contour Detection of Regular Image .....	26
3.5.2 Contour Detection of Eye-cell Color Images.....	27
<b>3. 6 Semi-automaticall Segmentation of Eye-cell Image sequence</b> .....	<b>28</b>
<b>3. 7 Summary</b> .....	<b>31</b>
<b>Chapter 4 Elementary Microcosmic Visualization of Eye-cell Images</b> .....	<b>33</b>

---

<b>4. 1 Introduction of Image 3-D Construction Algorithms .....</b>	<b>33</b>
4.1.1 Face Rendering .....	33
4.1.2 Volume Rendering.....	34
4.1.3 Comparing.....	35
<b>4. 2 Programming tools.....</b>	<b>36</b>
4.2.1 VolPack Software Pack .....	36
4.2.2 OpenGL Tool Kits.....	37
<b>4. 3 Eye Cell Images'3-D Construction Algorithms.....</b>	<b>40</b>
4.3.1 Ray-casting Algorithm .....	40
4.3.2 Contour Connection Algorithm.....	42
4.3.3 Our Contour Connection Algorithm .....	45
<b>4. 4 Results of Experiment and Summary .....</b>	<b>46</b>
<b>Chapter 5 Conclusions and Future Work.....</b>	<b>48</b>
<b>References .....</b>	<b>50</b>
<b>Paper Published During Period as a Graduate Student.....</b>	<b>52</b>
<b>Acknowledgement .....</b>	<b>53</b>

## 第一章 绪论

科学计算的目的是洞察，而不仅是获得数据。科学计算可视化正是依托日趋成熟的图形学和图像处理技术，结合具体的应用领域，以图形、图像及动画等视觉形式表现出来。它使人们清晰直观地观察到隐藏在数据背后的真正实体，洞察到事物的规律和本质。

医学可视化正是科学计算可视化的一个分支，它可以从 CT、MRT 或组织切片图像序列中直观地重构出三维结构，并在计算机上显示出来。凭借迅猛发展的信息技术，人体从微观到宏观的结构和机能的数字化、可视化已经蓬勃地开展起来了，也已经取得了不少的成果。相信在不远的将来，人们可以最终达到人体的整体和局部的精确模拟，为人类的健康做出更多不可估量的贡献。

### 1. 1 本课题的科学意义和国内外研究概况

科学计算可视化指的是运用计算机图形学和图像处理技术，将科学计算过程中及计算结果的数据转换为图形及图像在屏幕上显示出来并进行交互处理的理论、方法和技术。科学计算可视化是处理大体积数据源必不可少的工具，而且学科交叉对推动科学计算可视化的发展具有极其重要的作用。

#### 一. 国外发达国家在医学可视化领域的研究现状和应用

测量数据的可视化就是最为活跃的研究领域。三维重建技术始于 20 世纪 70 年代，并在近几年得到长足的进步。尤其在近几年来，利用组织学切片图像对人体进行三维重建逐渐成为一个热点。1989 年美国国立医学图书馆发起“可视人计划”（Visible Human Project, VHP）。1991 年 8 月，美国国家医学图书馆和 Colorado 大学的健康科学中心签订协议，由 Colorado 大学

完成人体界面图像获取。其特点是人体断层解剖学意义上的数字化的“解剖人”。1994年11月完成并向世界公布。先后获得一男一女两组的光学照片数据，以及CT和MRI断层扫描图像。组织学照片通过里夫照相机拍摄，男性共有1878个横断面切片，女性切片数为5190，片层间距分别是1.0mm和0.33mm。CT层间距1.0mm，片内分辨率为 $512 \times 512$ ，12级灰度；MRI片层间距4.0mm，片内分辨率为 $256 \times 256$ ，12级灰度。1995年推出的组织切片数字化的分辨率为 $2048 \times 1216$ ，24级彩色。数据量男性为12GB，女性为30GB。2000年8月推出分辨率为 $4096 \times 2700$ 的数字化数据集，每一个切片的文件大小为32MB。VHP数据集已经发放了1500套许可证。在英国、意大利、新加坡和日本建立了VHP镜像站点。

在欧洲，除了汉堡大学著名的Voxel-Man系统之外，法国医学界宣布的虚拟人由超声波、CT、MRI等获得的图像构成；英国PA咨询公司和美国菲西奥姆科学公司近期宣布开始联合研制计算机化的“虚拟人体”系统，利用虚拟人体代替真正人体进行药物的初期测试<sup>[1]</sup>。

由韩国Ajou大学和韩国科技信息研究所承担的韩国可视人计划于2000年开始，计划5年内完成。要没有损失地完整获取CT、MRI断层扫描以及组织切片的0.2mm精度的切片数据。目前这一计划已经顺利通过前期实验，这是继美国可视人计划以来的世界上第二例尝试，也是第一例具有东方人种特征的人体数据采集的努力<sup>[2]</sup>。

国外，已经有了可以显示三维医学图像的商品化系统<sup>[3]</sup>。例如，以色列艾尔新特公司（Elscint Ltd）、美国通用电器公司（GE）出产的螺旋CT扫描设备均附有基于图形工作站的医学图像可视化系统。在将多层CT扫描图像和MRI图像输入计算机后，该系统可以沿x, y, z三个方向逐帧显示输入图像，可以用不同方法构造三维形体，可以对三维图像由外向内按层剥离或作任意位置的剖切以观察内部结构。也可以随着鼠标器的移动作实时的平移、旋转、放大或缩小。此外，还有测量距离。计算体积等功能。显

然，具有如此强大功能的三维图像系统将给诊断和治疗提供极大的方便。但是，它需要计算速度很高、存储容量很大的计算机系统，且价格昂贵。

1999 年美国国家科学基金会总统青年学者获奖获得者徐榭博士开发的数字化人体三维可视化模型软件，该软件“在荧屏上虚拟的三维人体上，有着与真人一样的五脏六腑、经脉血流甚至是肌肤，当把鼠标作手术刀对虚拟人体进行解剖时，视觉感受效果与实行解剖一模一样。

## 二. 国内在医学可视化领域的研究现状和应用

在我国，清华大学，浙江大学和中科院自动化研究所等单位都长期致力于这方面的研究，并取得了一定的成果。2001 年 12 月北京 174 次香山会议正式提出了“中国数字化虚拟人体”计划，并由“国家 863”立项。“数字化虚拟人”是把人体形态学、物理学和生物学等信息，通过大型计算机处理，而实现的数字化虚拟人体，可代替真实人体进行实验研究的技术平台。人体由 1 0 0 多万亿细胞组成。目前，人类对自己的认识了解甚为有限，特别是人类对病因研究、疾病诊断、疾病治疗，以及人体与环境复杂交互关系的研究，缺少精确量化的计算模型，受到严重的制约，采用信息医学与生物技术、计算机技术相结合的“数字化虚拟人”，恰恰可以为人类提供各种精确数据和依据，彻底解决这一历史性难题<sup>[4]</sup>。

中国工程院院士、解放军第一军医大学临床解剖学研究所所长钟世镇称，“虚拟人”技术研究需要经历“虚拟可视人”、“虚拟物理人”、“虚拟生理人”和“虚拟智能人”四个发展阶段，这四个阶段不一定截然分开，各阶段内容可能有交叉重叠。中国在这一领域的研究近况只是迈出最初阶段的第一步，后续三阶段研究工作尚处于开始启动状态<sup>[5]</sup>。香港中文大学计算机科学与工程学系虚拟现实、可视化与图像学研究中心王平安教授领导的课题组完成第三军医大学数字化可视人体研究课题组采集的数据集的三维可视化。他们在虚拟现实、可视化与图像学研究领域已有了很好的工作积累，他们的出色的工作为中国数字化可视人体研究作出了的贡献。

显然,三维医学图像重建技术可以从二维图像中获取三维的结构信息,能够弥补影像成像设备在成像上的不足,为用户提供具有真实感的三维图形,便于用户从多角度,多层次进行观察和分析,它在辅助医生临床诊断等方面发挥着越来越重要的作用。

未来的医学可视化将与虚拟现实技术结合,使它不仅仅是“观看”体数据的工具,而且同时能创造一个虚拟环境,让操作者在这个虚拟环境中参与对体数据的操作和改造,这样,操作者将像置身在真实世界中一样,对这种虚拟世界中的物体进行操作,这在医学实践中是十分重要的,这样医生即可通过三维输入设备直接对病人的模型实施各种手术方案,整个模拟过程和实际的手术过程非常接近,这将会帮助医生制定最有效最安全的手术方案。

## 1. 2 本课题的研究内容及创新

本课题着重于研究眼切片的细胞级微观可视化,以期能够更细致、深入地了解眼睛的结构和功能。建立虚拟眼模型对分析眼的各种生理、病理参数,对各种眼部疾病,拟定治疗方案和评估预测效果等方面,都将有着重要的现实意义。虚拟眼研究的终极目标是在计算机上实现一个跟真人眼完全一样的眼,它能体现真眼的形态也能实现真眼的功能。目的是让医生在计算机上进行虚拟解剖、手术练习,也可以试验各种治疗手段的效果等。本课题是厦门大学王博亮教授主持的“国人虚拟眼及临床应用”项目的一个重要组成部分,为研制“国人虚拟眼”做一定的探索和尝试。王教授课题组在国际上首次将一只中国人眼球制备了646片组织切片,每片厚度仅35微米左右,并保存了全部标本,获得了眼球切片一套高分辨率的原始基础数据集。

一. 本课题的主要内容如下:

1、眼细胞图像的分割

要建立虚拟眼，首先就要了解眼睛的各部分组织结构，从眼睛的生理切片图像中分割、提取出各个组织结构。本文要提取眼细胞结构，即设计出一个较好的彩色图像分割算法。主要是根据彩色眼细胞图像的特点，采用基于改进的 Snake 模型的彩色眼细胞边缘检测算法。并针对眼细胞切片序列图像的特点，对该序列图像进行半自动的分割。

## 2、基于切片眼图像组织结构的可视化（三维重建）

本文在对序列眼细胞彩色图像分割的基础上，采用光线投射体绘制算法和轮廓拼接表面绘制算法，简单实现眼细胞的初步微观可视化。

### 二. 本课题的新颖之处:

1. 针对彩色眼切片组织图像的特点提出了一个彩色图像边缘检测算法，即采用基于改进的 Snake 模型的彩色眼细胞边缘检测算法对采集到的图像进行有效的分割。它能够在较少人工干预下从眼切片图像数据中分割、提取出眼细胞结构。并根据序列图像间的相关性，对序列图像进行半自动的分割。

2. 不少专家学者致力于数字化虚拟人体方面的工作，在虚拟人体器官方面取得了一定的成果，但目前少见有关研制虚拟眼方面的报道，尤其缺少对眼切片图像进行局部细胞级三维重建方面的报道。本文将对眼细胞进行初步的微观可视化。

## 1.3 本文的组织结构

本文共分五章。

第一章是概述部分。简单地介绍了课题的科学意义和国内外研究概况，总结了本文的主要研究内容和新颖之处。

第二章主要介绍了序列眼切片图像数据的制作和采集过程，并简单探讨了图像的预处理方法。

第三章主要介绍了几种常用的分割算法以及本文对眼细胞图像进行分割的方法，提出了一种基于改进的 Snake 模型的眼细胞彩色图像边缘检测算法。最后在该算法的基础上，根据序列图像的相关性，对序列眼细胞彩色图像进行半自动分割。

第四章简单介绍了 VolPack 体绘制软件包和 OpenGL 三维工具软件包并阐述了两种主要的三维重建算法，最后采用了光线投射体绘制算法和轮廓拼接表面绘制算法，对分割后的序列眼切片图像进行初步三维重建，实现眼细胞的初步微观可视化。

第五章是结束语，总结了本文的主要工作，并提出了下一步工作的设想。

## 第二章 数据的制作和图像预处理

本章简要介绍了眼切片图像和序列眼细胞图像的制作和采集过程，并简单探讨了图像的预处理过程。

### 2.1 数据的制作过程

本文所采用的眼组织切片标本（VCE-2#）是于2004年2月由厦门大学王博亮教授领导课题组成员制作出来的，在国内外尚属首例将国人离体眼球进行微米级切割，并保存了全部标本，由此获得了一套眼球切片的高分辨率的原始基础数据集。下面将介绍国人离体眼球切片的制作步骤和序列眼细胞图像的采集过程。

#### 一. 国人离体眼球切片的制作步骤

##### 1. 获取离体眼球

由广州第一军医大学提供的中国人离体眼球一个，眼球四周的结缔组织已经用剪刀清除干净，但保留了一段视神经。

##### 2. 用 Susa 液固定眼球

用白线扎住视神经（距离眼球6毫米处结扎），使眼球悬挂在固定液中，防止沉入瓶底而发生变形。固定8小时后，在眼球两侧开个小圆窗，以利于渗透药液。

##### 3. 经过各级酒精脱水后用火棉胶包埋

固定后的眼球要依次经过多个浓度依次增加的酒精溶液里进行脱水，这样可以使眼球中的水分完全除去，并使眼球组织变硬，以利于下一步包埋时火棉胶酒精溶液的渗透。眼球经过脱水后，就可以将它依次浸入5%、10%、15%和20%的火棉胶溶液中进行胶液透入，最后将眼球火棉胶包埋

块固定在特制的台木上，至此完成了整个眼球的火棉胶包埋过程。眼球的火棉胶包埋块可以置于 75% 的酒精中长期保存。

#### 4. 切片

使用 Leica SM2000R 推拉式切片机对眼球火棉胶包埋块进行切片。此切片机可以精细到单个微米级，但是由于眼球本身是一种极易脆碎的标本，很难实现单个微米级切割。经过多次实验以及比较后，最后确定以每片厚度为 35 微米来进行切割。

#### 5. 进行苏木精—伊红染色

其中，苏木精是用来染眼球的细胞核，使之呈鲜明蓝色；而伊红是用来染眼球细胞质，使其呈现红色，这样就可以与细胞核区分开。这个步骤的成功与否直接影响到显微镜下眼球细胞可见度清晰与否，而后者对基于细胞层次是来研究眼结构是具有重要作用的。

#### 6. 获取的眼球切片数为 646 片

按照上述步骤来制作人眼切片标本，最终获得 646 片切片数据。

#### 二. 序列眼细胞图像的采集过程

首先，调节 Leica DMLB 2 显微镜的目镜和物镜使它们分别选取 10 倍和 40 倍的镜片。这样就可采集到放大 10\*40 倍的图像。接着，选取眼切片样本固定在载物台上，确保盖玻片在上。然后，按住（附加调节装置的）左下按钮同时拨动方向球，调节 x 轴、y 轴，选择感兴趣的局部区域。最后，利用配套软件操作控制，在该显微视野下进行多个等间距焦平面层的图像采集。这一步相当于依次在该眼切片 z 轴的不同位置（这些位置是等间距的）聚焦，采集到序列眼细胞图像。

总体上说，原始的眼睛生理组织切片厚度为 35 微米，利用显微镜的区域选择和精确聚焦能力，又可以在切片平面的感兴趣的局部（某个视野下）获取例如 30 层的数据，也就是说，每层仅约有 1.16 微米，这些都保存为 30 张 766\*572 的真彩色 bmp 图片。图片按顺序编号为 eye\_cell\_01.bmp, .....,

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库