

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: 23020081153214

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于水平集方法的医学图像分割算法研究
Algorithm Research of Medical Image Segmentation based
on Level Set Method

顾 金 库

指导教师姓名: 林亚忠 副教授

专 业 名 称: 计算机软件与理论

论文提交日期: 2011 年 5 月

论文答辩时间: 2011 年 6 月

学位授予日期: 2011 年 6 月

答辩委员会主席: _____

评阅人: _____

2011 年 5 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈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其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为(福建省自然科学基金项目(2008J0312)项目、南京军区“十一五”计划课题项目(NO:06MA99)、南京军区重点课题(NO:08Z021))课题(组)的研究成果,获得(福建省自然科学基金项目(2008J0312)项目、南京军区“十一五”计划课题项目(NO:06MA99)、南京军区重点课题(NO:08Z021))课题(组)经费或实验室的资助,在(厦门大学附属东南医院网络中心)实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于2013年12月31日解密，解密后适用上述授权。

2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘要

图像分割技术是图像处理、分析与理解、图像识别和计算机视觉领域的一项基本而又非常重要的技术，像医学中常见的图像配准、三维重建、计算机辅助诊断系统的研究，都离不开这一技术。

几何活动轮廓模型凭借计算的简单性、高效性以及特别适合用于建模和提取任意形状的变形轮廓等优点，在近 20 年来，它在医学图像分割、边缘检测和运动跟踪中有了广泛的应用和很大的发展。在临床应用中经常存在一些灰度不均匀图像，而在传统的水平集方法中还不存在一种既能够分割灰度不均匀图像，又能灵活选择初始轮廓的算法，需要进一步改进以适应医学图像分割的需求。因此，本文对该模型进行了深入系统的研究，并提出两种可行的解决方案。

论文的主要内容为：首先，回顾了数字图像处理和图像分割的发展历程及其研究现状；其次，介绍了对几何活动轮廓模型非常重要的曲线演化理论和水平集方法；第三，根据能量泛函的定义分别介绍了基于图像区域信息和基于图像边界信息的几何活动轮廓模型，以及各自比较典型的算法。特别地，针对当前较新的水平集方法，如 LBF 算法和 ADPLS 算法，进行了重点研究。最后，针对 LBF 分割速度较慢且易受初始轮廓影响的不足，提出两种改进措施：1) 首先通过添加带有变权系数面积项的 LBF 模型进行初始分类以获取较好的初始轮廓，然后采用传统的 LBF 模型对图像进行进一步的分割。方法在保证良好分割效果的前提下对初始轮廓的选择更加灵活，分割速度明显快于传统的 LBF 算法；2) 利用 ADPLS 算法在处理不均匀图像时具有速度快、不受初始轮廓影响、精度较低的特点，提出一种新颖的自适应融合算法：它根据图像信息自动调整 ADPLS 与 LBF 在融合算法中所占的比重，从而实现不同算法的优势互补，使得该融合算法在分割的精度、速度以及算法的稳定性等综合性能指标上有明显的提高。

关键词：图像分割；水平集方法；算法改进

Abstract

Image segmentation is a fundamental and very important technology for the image processing, analysis and understanding, image recognition and computer vision. Such as the common medical image registration, reconstruction, computer-aided diagnosis system all cannot carry out without this technology.

With the calculation simplicity, efficiency, particularly suitable for modeling and contour extraction of arbitrary shape, in the past 20 years, it has been widely used and developed in the medical image segmentation, edge detection and motion tracking. Frequently in the clinical application, there are some image with intensity inhomogeneity, while in the traditional level set methods there is not a method which can get promising segmentation results with flexible initial contour selection, and further improvements need to make for this new demand of medical image segmentation. Therefore, the geometric active contour model is researched and two possible solutions are proposed in this paper.

In this paper, level set methods for image segmentation algorithm are studied. First, the paper briefly reviews the history of digital image processing and its current research status. Second, curve evolution and level set method are introduced which are very important for geometric active contour model. Third, according to the content of the definition of energy functional, the methods of geometric active contour model which based on the image area information and edge information respectively are introduced. In particular, the current level set methods, such as LBF algorithm and ADPLS algorithm, are studied in detail. Finally, to solve the low speed of segmentation and the results are vulnerable to the initial contours, two improvements are proposed. 1) Firstly, after added the area item with variable weights to the traditional LBF model, better initial contour can be obtained than manual one. Secondly, the traditional LBF model will be used for further segmentation. Experimental results show that this method can not only get promising segmentation results with flexible initial contour selection, but also faster than the traditional LBF model under getting well results. 2) Since ADPLS method can get a result with high speed, low accuracy and has no relation to initial contours, a novel and adaptive fusing level set method has been proposed to make use of their advantages

respectively, which can automatically adjust the proportion of ADPLS and LBF in the fusing method according to image information. Experiment results show that the comprehensive performance indicators, such as accuracy, speed, and stability, can be significantly improved in the fusing method.

Key words: Image segmentation; Level set method; Algorithm improvement

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目 录

第一章 绪论	1
1.1 课题的目的和意义	1
1.2 图像分割技术研究概况	1
1.3 本文的主要工作和结构安排	3
第二章 水平集的基本概念	4
2.1 曲线演化理论	4
2.2 曲线演化的水平集方法	5
2.2.1 水平集方法原理	6
2.2.2 水平集方法的数学表达与曲线演化的关系.....	7
2.2.3 水平集方法的数值求解	8
2.3 本章小结	11
第三章 基于水平集方法的几何活动轮廓模型	12
3.1 基于图像区域信息的几何活动轮廓模型	12
3.1.1 Mumford-Shah 模型	12
3.1.2 Chan-Vese 模型	13
3.1.3 C-V 模型实验结果与分析	15
3.1.4 局部二元拟合模型	16
3.1.5 LBF 模型实验结果与分析	17
3.2 基于图像边界信息的几何活动轮廓模型	19
3.2.1 基于变分法的几何活动轮廓模型简介.....	19
3.2.2 距离保持水平集演化方法——DPLS 方法	20
3.2.3 DPLS 方法实验结果及分析	22
3.2.4 自适应距离保持水平集方法——ADPLS 方法	23
3.2.5 ADPLS 方法实验结果及分析	26
3.3 本章小结	28
第四章 一种改进的 LBF 模型	30
4.1 基本原理	31
4.2 算法数值实现	32
4.3 算法实验步骤	32
4.4 实验结果与分析	33
4.5 本章小结	36
第五章 一种结合边界信息和区域信息的水平集融合算法	37

5.1 基本原理	37
5.2 算法数值实现	38
5.3 实验步骤	39
5.4 实验结果与分析	40
5.5 本章小结	44
第六章 工作总结与展望	45
6.1 工作总结	45
6.2 基于水平集方法的几何活动轮廓模型研究展望	46
[参考文献]	48
研究生期间发表论文及科研情况	51
致 谢	52

Table of contents

Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Purpose and significance of the subject.....	1
1.2 Overview of the image segmentation technology.....	1
1.3 Main research contents and basic constructure of this paper.....	3
Chapter 2 Knowledge related to level set	4
2.1 Curve evolution theory	4
2.2 Curve evolution by level set.....	5
2.2.1 Principles of level set	6
2.2.2 Relationship between curve evolution and mathematical expression.....	7
2.2.3 Numerical solution of level set	8
2.3 Summery of this chapter.....	11
Chapter 3 Geometric active contour model based on level set.....	12
3.1 Geometric active contour model based on regional information.....	12
3.1.1 Mumford-Shah Model	12
3.1.2 Chan-Vese Model.....	13
3.1.3 The experiment results and analysis for the C-V model	15
3.1.4 Local binary fitting model	16
3.1.5 The experiment results and analysis for the LBF model	17
3.2 Geometric active contour model based on edge information.....	19
3.2.1 Geometric active contour model based on variational method.....	19
3.2.2 Distance preserving level set method	20
3.2.3 The experiment results and analysis for the DPLS method.....	22
3.2.4 Adaptive distance preserving level set method.....	23
3.2.5 The experiment results and analysis for the ADPLS method	26
3.3 Summery of this chapter.....	28
Chapter 4 An improved LBF model.....	30
4.1 Basic principles.....	31
4.2 Numerical solution for the algorithm.....	32
4.3 Exprimental procedures of the algorithm.....	32
4.4 The experiment results and analysis for the algorithm	33
4.5 Summery of this chapter.....	36
Chapter 5 A fusion algorithm combining the edge and regional information	37
5.1 Basic principles.....	37
5.2 Numerical solution for the algorithm.....	38

5.3 Experimental procedures of the algorithm.....	39
5.4 The experiment results and analysis for the algorithm	40
5.5 Summary of this chapter.....	44
Chapter 6 Conclusion and prospect	45
6.1 Conclusion.....	45
6.2 Prospect.....	46
[Referencs]	48
Projects and Publications	51
Acknowledgements.....	52

厦门大学博硕士学位论文摘要

第一章 绪论

1.1 课题的目的和意义

图像分割技术就是把图像中属于目标区域的感兴趣区域进行半自动或者自动提取分离出来,为更高层次的图像分析、理解打下基础。作为特定方向的应用研究,医学图像分割就是根据目标区域与背景区域的不同性质(如灰度、纹理等信息),把图像中的像素标记为特定组织、器官或解剖结构的过程。分割后的图像被广泛应用于各种场合,如组织容积的定量分析,诊断,病变组织的定位,解剖结构的学习,治疗规划和计算机指导手术^[1]。其重要意义主要表现在:首先,它是其它后续图像处理(三维重建、图像配准、计算机辅助诊断系统)的基础,为后续研究提供某一特定组织结构的可靠完备数据集。其次,便于提取特定目标组织的特征参数,如提取目标几何的、物理的、病理的特征参数,建立信息数据库或图谱,为诊断医师提供有价值的参考信息;再次,对目标区域进行自动或半自动化定位,将分割的结果进行三维重建,实现可视化,为放射治疗、化学治疗、外科手术、计算机辅助诊断、图像引导手术等治疗方案定位目标;最后,便于保存和管理图像信息资源,分割后的图像在不丢失有用信息的前提下,实现图像数据的最大化压缩比。这在图像保存、传输、远程诊断治疗和PACS系统中具有重要的实际应用价值。

1.2 图像分割技术研究概况

图像分割技术根据某些特征将一幅图像分成若干有意义的区域,使得这些特征在某一区域表现相似或者一致,相反在不同区域之间表现出明显的不同。当前,常见的图像分割方法主要有阈值分割技术、聚类分割技术、区域生长技术、区域的分裂与合并、边缘检测与边缘追踪技术。在图像分割最初发展的二十年里,人们主要对三种分割方法:边缘检测、阈值分割和区域提取进行研究。边缘检测方法中,先确定边缘像素并把它们连接起来以构成所需的边界;在阈值分割方法中,利用背景和目标物体灰度值的不同进行图像分割;在区域提取方法中,把各个像素划分到各个物体或区域中。进入二十世纪八十年代以后,越来越多的学者开始

将遗传算法理论、马尔科夫模型、分型理论、神经网络、形态学理论、模糊理论、小波理论等研究成果成功地运用到图像分割的研究中，取得了良好的效果。

图像分割技术从兴起到现在，算法得到了不断的改进和创新，取得了很大的进步。但是由于图像种类的多样性，很难用一种精确的数学公式来表征图像分割的过程，因此尽管图像分割技术分很多种方法，但是目前还没有一种通用的、能够使各种类型的图像达到最优分割质量的图像分割方法，已经提出的图像分割方法都只是对特定类型的图像能够取得一个较好的分割结果。但是，由于图像分割技术在医学诊断、工业产品检测、军事侦查等领域中的关键作用，使得它在实际工作中得到了广泛的研究和应用。

近二十多年来，凭借计算的高效性、简单性以及特别适用于建模和提取任意形状的变形轮廓等优点，活动轮廓模型在边界检测、医学图像分割和运送跟踪中有了广泛的应用和很大的发展，成为目前图像分割技术研究的热点。

目前，活动轮廓模型按照曲线的基本表达方式分为两类^{[2][3]}：一类是参数活动轮廓模型(Parametric Active Contour Model)，另一类是几何活动轮廓模型(Geometric Active Contour Model)。参数活动轮廓模型直接以曲线或者曲面的参数化形式表达曲线或者曲面的变形^[4]，这种表达方式允许和模型的直接交互，模型的表达紧凑，利于模型快速实现，然而，参数化的模型表达难以处理模型拓扑结构的变化，比如曲线的合并或者分裂等。几何活动轮廓模型是基于曲线演化理论和水平集方法，将活动轮廓线间接地表达为水平集函数的零水平集形式，这种表达方式虽然不如参数活动轮廓模型直观，但是在图像分割中却具有很强的拓扑自适应性^[5]。

水平集方法(Level Set Method)最初由 Osher 和 Sethian 提出^[6]，其基本思想是将闭合曲线演化问题转化为三维曲面问题来求解，它不是试图去跟踪演化后的曲线位置，而是遵循一定的规律，在二维固定坐标系中不断更新水平集函数，从而达到演化隐含在水平集函数中的闭合曲线的目的。即将移动的界面作为零水平集嵌入到高出一维的水平集函数中，由闭合的超曲面的演化方程得到水平集函数的演化方程，最终只要确定零水平集函数即可确定移动界面演化的结果。这种曲线演化方式的最大特点就是，可以很自然地由二维推广至更高维度，使得水平集具有柔性的拓扑，较好地解决感兴趣区域的分裂与合并问题。

随着水平集方法的应用领域的拓展，其算法的研究也逐渐成为图像分割技术

的研究热点。本文主要利用水平集方法进行图像分割，该方法不仅具有一般分割方法的优点，而且非常适合于结构复杂、拓扑结构变化的图像的快速准确分割。

1.3 本文的主要工作和结构安排

论文的主要工作和结构安排如下：

第一章主要介绍了图像分割技术研究的目的、意义和研究概况，并着重提到了活动轮廓模型中求解几何活动轮廓模型所需的水平集方法。

第二章详细介绍了几何活动轮廓模型的理论基础：曲线演化理论和水平集方法及其数值计算。

第三章根据活动轮廓线的驱动力的定义的不同，分别介绍了基于区域信息和边界信息的几何活动轮廓模型，以及各自在发展过程中几种典型而重要的方法。并在最后对其中的水平集方法得到的实验结果进行分析研究。

第四章提出一种稳定而快速的 LBF 模型，该方法不受初始轮廓影响，且速度快。

第五章提出一种结合图像区域信息和边界信息的水平集融合算法，该算法兼具两种类型算法的优点，在算法速度、稳定性、分割效果综合性能指标上具有显著的优势。

第六章为工作总结与展望。

第二章 水平集的基本概念

在图像分割最初发展的二十年里，人们主要对三种分割方法：阈值分割、边缘检测和区域提取进行研究。进入八十年代之后，越来越多的学者开始将模糊理论、马尔科夫模型、遗传算法、形变模型、神经网络、形态学理论、小波理论等研究成果应用到图像分割的研究中，取得良好效果。限于篇幅，本章只介绍三种传统的图像分割方法。

2.1 曲线演化理论

曲线演化理论是利用描述曲线几何特征的两个重要参数——曲线的单位法向矢量和曲率来研究曲线随时间的变形。其中，单位法向矢量描述曲线的方向，曲率则表述曲线弯曲程度。图像分割可以近似地看作图像平面上，闭合曲线在各种因素作用下运动的过程，通常取曲线的外法线方向为运动方向，如图 2.1 所示。

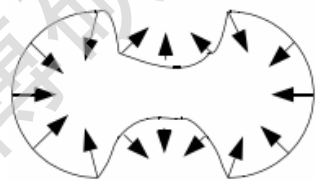


图 2.1 法线运动方向

在数学上，曲线演化问题可以描述为：二维欧式空间 R^2 中的一条光滑闭合的简单曲线沿着其法线方向以一定速度运动，形成以时间为变量的一簇曲线的过程。设演化曲线为 $C(s,t)=(x(s,t),y(s,t))$ ， s 是任意参数化变量， t 是时间，单位法向矢量 N 描述曲线的方向，而曲率 k 则描述曲线弯曲的程度。曲线的演化是一个自由的形变过程，速度可按照法线和切线进行分解，则曲线的演化方程可以用公式(2.1)所示的偏微分方程表示：

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \alpha T + \beta N \quad (2.1)$$

其中， α 和 β 是曲线切线方向和法线方向的速度函数。可以证明，对于任何速度函数 (α, β) 总是存在对应的 $(0, \beta)$ 能够保证曲线的最终演化轮廓是相等的，因

为切线方向的变形仅影响曲线的参数化，不改变其几何属性和形状，也就是说，任意方向运动的曲线方程总是可以通过重新参数化成公式(2.2)的形式^[7]：

$$\frac{\partial C}{\partial t} = V(C)N \quad (2.2)$$

式中， $V(C)$ 是速度函数，它决定了曲线上每点沿法线方向的演化速度。其中，速度 $V(C)>0$ ，表示活动轮廓是向外部方向演化，反之则反。

在曲线演化理论中，最常用的是曲率演化和常量演化，曲率演化由式(2.3)所示的几何热力学方程描述：

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \alpha k N \quad (2.3)$$

其中，常数 $\alpha>0$ ； k 是曲线的曲率。任意形状的简单闭合曲线，在上述偏微分方程的驱动下，都将逐渐变得平滑并最终收缩成一个圆点。

常量演化所用的偏微分方程可以表示为：

$$\frac{\partial C}{\partial t} = V_0 N \quad (2.4)$$

其中，常系数 $V_0>0$ ，它决定了曲线演化的速度和方向。常量演化会导致曲线出现尖角，在初始平滑曲线上产生奇异点，并可能出现拓扑结构的变化（分裂和合并）。仅仅采用常量演化会出现如图 2.2(a)所示的燕尾现象。因此，为了不使曲线在演化过程中出现燕尾现象，通常在演化过程中加入曲率项，由于使用了曲线的曲率信息，曲线在曲率大的地方具有较高的速度，可以有效避免燕尾现象，如图 2.2(b)所示。

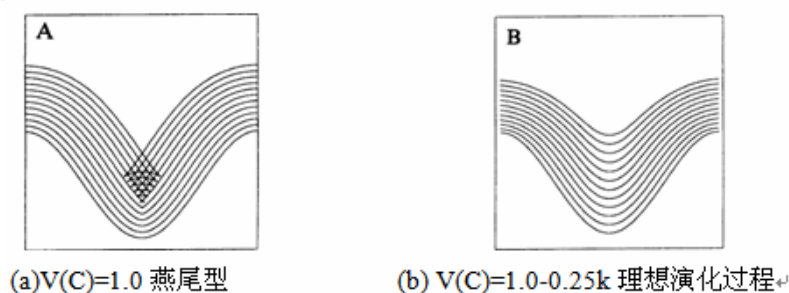


图 2.2 曲线按照不同的演化方式演化的示意图

2.2 曲线演化的水平集方法

在曲线演化的研究方法中，几何活动轮廓模型可以很自然地处理曲线的拓扑结构变化，且不依赖于轮廓线的参数化方式。其中，水平集方法不仅可以方便地计算曲线的曲率和法向矢量，而且在拓扑结构变化后不需要重新参数化曲线，因此得到广泛的研究和应用。

2.2.1 水平集方法原理

水平集方法最先由 Osher 和 Sethian 提出，并用于解决遵循热力学方程的火苗的外形变化过程，其基本思想是将平面曲线隐含地表达为三维连续函数曲面 $\phi(x,y)$ 的一个具有相同函数值的同值曲线，称为水平集函数，而 $\{\phi = 0\}$ 称作零水平集。这样就将二维曲线的运动转化为三维函数曲面的运动，每一时刻曲线的位置由三维函数的零水平集表征。

给定平面上的一条封闭曲线——以一个圆为例，如图 2.3 所示，以红色圆为边界，把整个 (x,y) 平面划分为两个区域：曲线的外部 and 内部区域。在平面上定义距离函数： $z = \phi(x,y,t) = \pm d$ ，其中 d 是点 (x,y) 到曲线的最短距离，函数符号取决于该点在曲线内部还是外部，一般定义曲线内部点的距离为负值， t 表示时间。在任意时刻，曲线上的点就是距离函数值为 0 的点（即距离函数的零水平集）。尽管这种转化使得问题在形式上变得复杂，但是在问题的求解上带来很多优点，最大的优点就是曲线的拓扑变化能够得到很自然的处理，而且以获得唯一的满足熵条件的解。

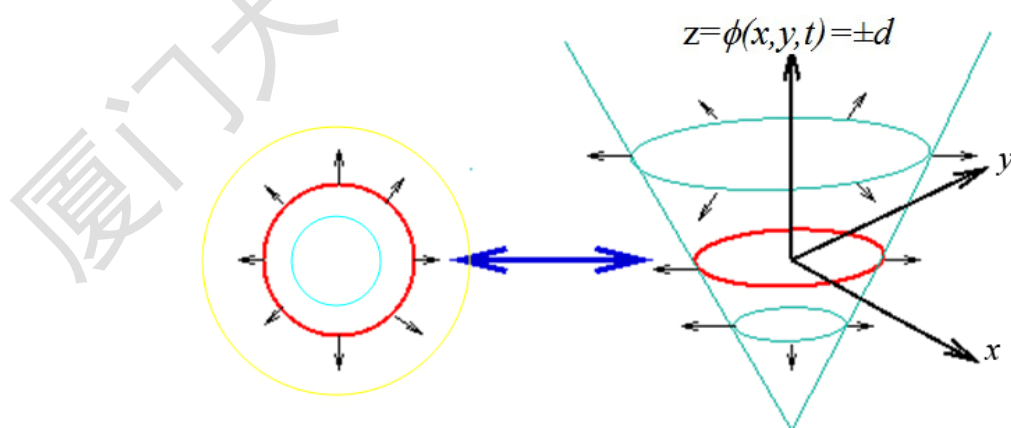


图 2.3 曲线（红色圆）嵌入在水平集函数中演化过程示意图

图 2.3 中的原始曲线（红色圆）的移动通过水平集函数的移动（升高、降低、扩张、收缩等）来实现，也就是说把原始曲线的拓扑变化转化到水平集函数上

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 for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库