



JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2013
12
VOL.18

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



图像分割 P1610



第18卷第12期（总第212期）

2013年12月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

2013 all rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版《中国图象图形学报》编辑出版委员会

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@irsa.ac.cn

电 话 010-64807995

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司
(邮政信箱：北京399信箱 邮编：100048)

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS
China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of
Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@irsa.ac.cn

Telephone 010-64807995

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation
(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China))

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

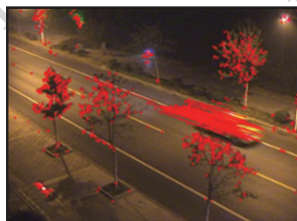
ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

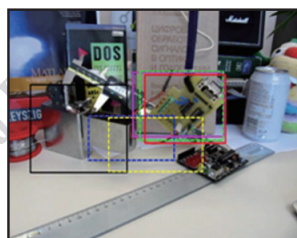
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

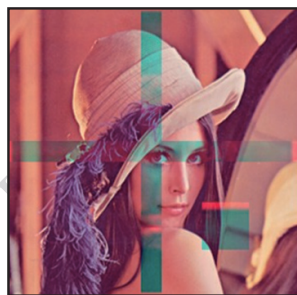
国内定价 50.00元



稀疏光流快速计算的动态目标
检测与跟踪(第1593页)



字典学习联合粒子滤波鲁棒跟踪
(第1628页)



结合SURF特征的多功能彩色
图像水印算法(第1694页)

图像处理和编码

小波子带最优方向性选择和压缩感知的图像编解码

王相海, 程露露, 周夏, 宋传鸣

1551

基于位平面和HVS的信息隐藏算法

张海涛, 姚雪, 陈虹宇, 张晔

1559

混沌密钥调制DFRFT旋转因子的视频加密

金建国, 王乐, 魏明军, 苏晶晶

1567

图像分析和识别

PCA-NLM的纺织品缺陷检测

杨学志, 左海琴, 陈远, 吴克伟, 谢昭

1574

基于主动表观模型姿态矫正和局部加权匹配人脸识别

赵恒, 俞鹏

1582

指纹拓扑模式构建及其在识别中的应用

仲伟波, 吕园, 李敏敏

1587

稀疏光流快速计算的动态目标检测与跟踪

陈添丁, 胡鉴, 吴涛

1593

边缘与灰度检测相结合的场景图像文本定位

何立强, 刘浩, 陈永

1601

Mean Shift图像分割算法的并行化

李宏益, 吴素萍

1610

混合高斯模型的自适应前景提取

李百惠, 杨庚

1620

字典学习联合粒子滤波鲁棒跟踪

查绎, 曹铁勇, 黄辉, 潘竟峰, 尤峻

1628

图像理解和计算机视觉

仿生复眼式全景探测及跟踪策略

罗超, 赵美蓉, 王东, 曹克雄

1637

医学图像处理

利用感兴趣区域从脑部MRI中提取脑组织

江少锋, 万红平, 陈震, 杨素华

1644

“第十届全国智能CAD与数字娱乐会议”专栏

基于Hermite插值的网格拼接和融合

缪永伟, 林海斌, 寿华好

1651

计算机生成中国传统祥云动画

方建文, 彭初, 于金辉

1660

森林动态演替现象的可视化模拟

单梁, 杨刚, 黄心渊

1666

多特征证据理论融合的视觉词典构建

沈项军, 高海迪, 曾兰玲, 毛启容, 詹永照

1676

轨迹和多标签超图配对融合的视频复杂事件检测

柯佳, 詹永照, 陈潇君, 汪满容

1684

结合SURF特征的多功能彩色图像水印算法

朱光, 师文, 朱学芳, 郝世博

1694

采用邻域直方图匹配的矢量纹理图案合成

徐婵婵, 杨刚

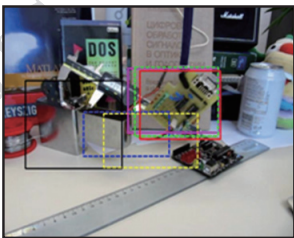
1703

CONTENTS

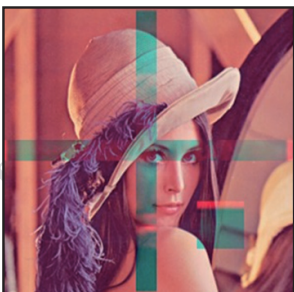
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Dynamic target detection and tracking based on fast computation using sparse optical flow (P1593)



Object tracking based on learning a dictionary joint practical filter(P1628)



Multi-purpose watermark algorithm of color images based on SURF(P1694)

Image Processing and Coding

Image codec research on the optimum directional selection of wavelet sub-band and compressed sensing

Wang Xianghai, Cheng Lulu, Zhou Xia, Song Chuanming 1551

Research of information hiding algorithm based on bit-plane and HVS

Zhang Haitao, Yao Xue, Chen Hongyu, Zhang Ye 1559

Video encryption based on chaotic key modulating DFRFT rotation factor

Jin Jianguo, Wang Le, Wei Mingjun, Su Jingjing 1567

Image Analysis and Recognition

Fabric defect detection based on PCA-NLM

Yang Xuezhi, Zuo Haiqin, Chen Yuan, Wu Kewei, Xie Zhao 1574

AAM-based alignment and local weighted matching method for face recognition

Zhao Heng, Yu Peng 1582

Fingerprint topological pattern construction and its application in recognition

Zhong Weibo, Lyu Yuan, Li Minmin 1587

Dynamic target detection and tracking based on fast computation using sparse optical flow

Chen Tianding, Hu Jian, Wu Di 1593

Text extraction from scene image based on edge and gray-scale detection collaboration

He Liqiang, Liu Hao, Chen Yong 1601

Parallelization of Mean Shift image segmentation algorithm

Li Hongyi, Wu Suping 1610

Adaptive foreground detection approach of Gaussian mixture model

Li Baihui, Yang Geng 1620

Object tracking based on learning a dictionary joint practical filter

Zha Yi, Cao Tiejong, Huang Hui, Pan Jingfeng, You Jun 1628

Image Understanding and Computer Vision

Bionic compound eye panoramic detection and tracking strategy

Luo Chao, Zhao Meirong, Wang Dong, Cao Kexiong 1637

Medical Image Processing

Automatic brain extraction from cerebral MRI volume using region of interest

Jiang Shaofeng, Wan Hongping, Chen Zhen, Yang Suhua 1644

Issum of CIDE' 2013

Mesh stitching and fusion based on Hermite interpolation scheme

Miao Yongwei, Lin Haibin, Shou Huahao 1651

Computer generation of cloud animation with a Chinese traditional style

Fang Jianwen, Peng Ren, Yu Jinhui 1660

Simulation of the dynamic evolution of spatial distribution of trees in the forest

Shan Liang, Yang Gang, Huang Xinyuan 1666

Visual dictionary construction method based on dempster-shafer evidence theory

Shen Xiangjun, Gao Haidi, Zeng Lanling, Mao Qirong, Zhan Yongzhao 1676

The video complex event detection method of matching integration between trajectory and multi-label hypergraphs

Ke Jia, Zhan Yongzhao, Chen Xiaojun, Wang Manrong 1684

Multi-purpose watermark algorithm of color images based on SURF

Zhu Guang, Shi Wen, Zhu Xuefang, Hao Shibao 1694

Vector texture pattern synthesis based on neighborhood histogram matching

Xu Chanchan, Yang Gang 1703

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2013)12-1644-07

论文引用格式: 江少锋, 万红平, 陈震, 杨素华. 利用感兴趣区域从脑部 MRI 中提取脑组织[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(12): 1644-1650.
[DOI:10.11834/jig.20131213]

利用感兴趣区域从脑部 MRI 中提取脑组织

江少锋, 万红平, 陈震, 杨素华

南昌航空大学无损检测技术教育部重点实验室, 南昌 330063

摘要: 从脑部核磁共振成像(MRI)图像提取脑组织是影像学分析中的一项重要预处理过程。提出了一种基于感兴趣区域和混合水平集方法的脑组织提取方法。该方法先采用脑组织提取工具(BET)方法得到脑组织的感兴趣区域, 然后在该感兴趣区域内演化改进的混和水平集得到真实的脑组织边界。改进的混合水平集采用了一个非线性的速度函数, 能够有效地防止边界泄露。该方法所用到的 MRI 数据均来自于 IBSR(Internet brain segmentation repository web)网站。利用 18 组 IBSR 网站的 MRI 数据, 该方法得到的结果接近于标准手动提取结果, 并且在多个评价参数上都取得最好结果。实验结果表明该方法提取脑组织具有一定的准确性和稳定性。

关键词: 脑组织提取; 混合水平集; 感兴趣区域; 脑部 MRI 图像; 活动轮廓

Automatic brain extraction from cerebral MRI volume using region of interest

Jiang Shaofeng, Wan Hongping, Chen Zhen, Yang Suhua

Key Laboratory of Nondestructive Testing, Nanchang Hangkong University,
Ministry of Education, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China

Abstract: Automatic extraction of brain tissue from MRI volume is an important step in the preprocessing of brain analysis. To improve the extraction result, a region of interest based method for automatic brain extraction was proposed. The first step of the proposed method was obtaining the brain region of interest with the brain extraction tool (BET) algorithm. Then a modified hybrid level set model was defined to obtain the true brain boundary. The modified hybrid level set model used a nonlinear speed function which can eliminate the boundary leakage effectively. 18 MRI volumes from internet brain segmentation repository (IBSR) were used in our experiment. The results obtained from our method were very similar with the results using manual extraction and almost achieved the best results on IBSR data compared with other methods. Experiment shows the proposed method is effective and robust.

Key words: brain extraction; hybrid level set; region of interest; cerebral MRI; active contour

0 引言

脑组织提取是很多脑部医学图像分析中的一项重要预处理过程, 如功能磁共振成像(fMRI)和 T1

加权磁共振图像的配准, 脑容量的测量和大脑皮层表面重建。另外从脑部磁共振图像中分割出白质、灰质和脑脊液之前必须正确提取出脑组织。本文仅涉及整体脑组织的提取而不涉及之后的白质、灰质和脑脊液提取。人工方法提取脑组织需要耗费大量

收稿日期: 2013-04-16; 修回日期: 2013-05-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(61162023, 61163046); 江西省自然科学基金项目(20114BAB211023)

第一作者简介: 江少锋(1978—), 男, 副教授, 2008 年于南方医科大学获生物医学工程博士学位, 主要研究方向为医学图像处理。E-mail: jsphone@163.com

的时间,并且还要求操作人员具备一定的专业知识,对大脑的解剖学结构非常了解。鉴于手动提取的这些不足,近十几年来,出现了很多脑组织自动或半自动的提取方法。

Smith^[1]提出了著名的基于边界的脑组织提取工具(BET)。BET首先定义了一个离散点阵作为初始轮廓,后利用平滑力和推力将这些离散的点推至脑组织边缘。因该推力是全局定义的,故BET对参数的设定不太敏感,但脑组织边界也会因此过于平滑。另一个广泛使用的脑组织提取工具是Shattuck^[2]提出的脑表面提取方法(BSE)。BSE采用了以下步骤来分离脑组织:各项异性扩散滤波,马尔算子边缘检测以及形态学操作。其中形态学操作的参数设置对分割结果有着很大影响。Zhuang^[3]在水平集的基础上定义了类似于BET中定义的推力的数据项和与曲线曲率相关的平滑项。但该方法容易产生边界泄漏。Huang^[4]为了确定测地线活动轮廓模型中的初始轮廓线,采用了基于混合高斯模型中的期望值最大法。Sadanathan^[5]采用灰度阈值生成一个初始的二进制掩模,理想情况下,该掩模仅包含脑组织,头骨及两者之间的一些窄连接,之后采用图割法移除其窄连接(该方法称为GCUT)。GCUT有时也会产生边缘错误和边界过平滑现象。

国内,Shui等人^[6]采用分水岭结合水平集的方法提取脑组织;Jia等人^[7]在水平集算法的基础上,结合形态学方法,实现了脑组织提取;Han等人^[8]基于层间先验知识实现了脑组织提取中形态学结构元素大小自适应设置;Jiang等人^[9]改进了BET算法,使得算法更为稳定。

上述提到的几种方法在脑组织提取的准确性和鲁棒性方面都取得较好的结果。但是仍会出现以下问题:表面过平滑、边界泄漏和其局部收敛性造成的部分脑组织缺失等。上述问题之间是相互冲突的,想要同时改进并不容易,故自动方法并不能完全代替手工方法。脑组织提取实际上是半全局理解和局部理解的一个折衷^[1]。比如,局部区域特性可以改善图像表面过平滑和边界泄漏问题,却容易导致在灰质和白质的边界局部收敛。为了尝试克服这种冲突,提出基于感兴趣区域(ROI)的脑组织自动提取方法,该方法主要适用于T1加权MRI图像。

1 方法介绍

先采用BET算法对T1加权MRI图像进行预处理,得到感兴趣区域ROI。然后在ROI内用水平集方法不断迭代演化得到脑组织边界。为了消除边界泄漏,所用的水平集方法采用了一个非线性的速度函数。因BET所获得的初始轮廓线已经很贴近真实的脑组织,所以由此得到的ROI内的全局最小值也就是真实的脑组织边界。对于3维MRI图像的脑组织提取,采取逐层处理的方案,这样做不仅减少了消耗时间,也提高了提取精度。

1.1 处理流程

BET方法获得的脑组织边界已经很贴近脑组织,但太过粗糙,不能清楚表现大脑的沟回结构。不过,BET算法对初始轮廓、参数和病灶均有良好的鲁棒性,依然适合为脑组织的提取提供初始轮廓。

采用改进BET^[9]得到的脑组织边界作为初始轮廓来自动获取ROI。图1(a)中白线为BET的初始轮廓,为一个简单的圆;图1(b)中白线是BET获得的脑组织边界,将该轮廓线膨胀即可得到环形ROI,如图1(c)所示。在该ROI内部反复执行改进的混合水平集方法即可得到最终的脑组织轮廓,如图1(d)中白线所示,此轮廓清晰的表现了大脑中复

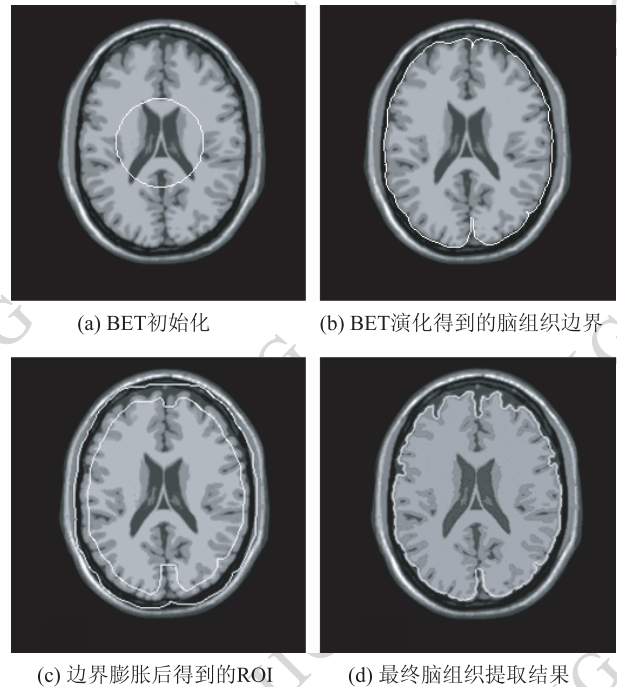


图1 脑组织提取处理流程

Fig. 1 The processing step of our brain extraction method

杂的沟回结构。为了避免边界泄漏的现象,本文在水平集中重新定义了速度函数。

对于3维MRI图像,采用逐层方式对各切片的ROI进行初始化。在BET中,一个固定参数并不适合3维图像中的所有切片,在个别切片中会出现比较差的结果,如眼球、脑干、小脑部分。而在多数MRI图像中,大脑组织结构往往在中间切片较为简单。因此,本文首先处理的是中间切片,改进BET可以快速准确地获得中间切片的初始轮廓。对于BET可能出现不好结果的包含眼球、脑干和小脑部分的切片,故本文不采用BET的结果。鉴于大脑表面的连续性,其余切片的初始轮廓直接由邻近切片的脑组织提取结果做相应收缩变化得到^[3]。

这样仅在中间切片执行一次BET,再采用前一个切片的脑组织提取结果作为相邻下一个切片的初始化轮廓,能够跟踪到相邻切片间的脑组织轮廓的变化。故而最开始的初始轮廓已经非常接近真实的脑组织边界,这就保证了后续用混合水平集方法演化活动轮廓模型得到的边界是准确的。这不仅节省了计算时间,也提高了结果的准确性。

1.2 混合水平集模型

鉴于水平集模型在图像分割中的显著的优势,采用水平集模型在ROI内演化以获取脑组织轮廓。根据图像分割的目的和领域不同,人们在水平集模型框架基础上开发出了很多改进措施。在这些模型当中,基于边界的GAC(geodesic active contour model)模型和基于区域特性的CV(Chan-Vese model)模型取得了很大进展。后来又出现了一种混合水平集模型^[10],该模型即包含了边界信息又包含区域信息,这种混合水平集模型函数为

$$E(\phi) = -\alpha \int_{\Omega} (I - \mu) H(\phi) d\Omega + \beta \int_{\Omega} g(|\nabla \phi|) |\nabla H(\phi)| d\Omega \quad (1)$$

式中, I 是待分割图像, $g(|\nabla I|)$ 是与图像梯度有关的边界特征映射函数。 ϕ 为水平集函数,其零水平集定义了活动轮廓。 Ω 代表图像域, α, β 为权重项, $H(\phi)$ 定义为

$$H(\phi) = \begin{cases} 0 & u < 0 \\ 1 & u \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

函数 $E(\phi)$ 右边第1项属于区域项, μ 表示分割对象灰度值的下限范围。第1项的作用是促使边界线包含灰度值比 μ 大的区域,第2项实际上为GAC模型的水平集函数表达式。该项的作用是促使轮廓到达

图像梯度大的区域。如果 ϕ 是一个符号距离函数(SDF),即 $|\nabla \phi| = 1$,相关曲线演化PDE(partial differential equation)的水平集公式可以简化为

$$\phi_t = \alpha(I - \mu) + \beta \operatorname{div}(g \nabla \phi) \quad (3)$$

上述方程可以看做是速度函数。一般来说,速度函数都包含数据项和平滑项。因此,方程中的区域项即为数据项,GAC模型函数表示其平滑项。Lefohn^[11]提出了一个线性分段速度函数

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = |\nabla \phi| \left[\alpha D(\bar{x}) + (1 - \alpha) \nabla \cdot \frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right] \quad (4)$$

它只取决于输入图像 I 在点 $\bar{x}$ 处的灰度值。该分段函数如图2所示, T 是区域的分割阈值, ε 为图像灰度值在 T 附近的可控制变动范围。这样,当模型位于灰度值区间 $T \pm \varepsilon$ 时,将会膨胀来包含这些像素点,而当模型位于该灰度值区间外,则会收缩排除这些像素点。

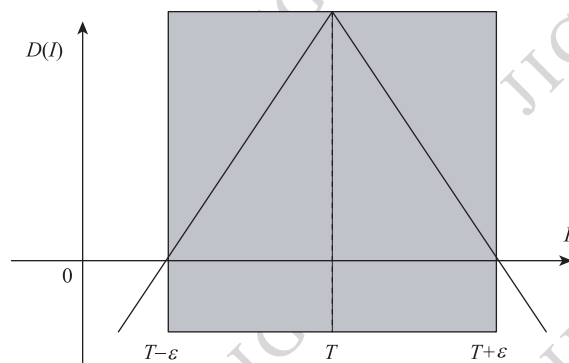


图2 线性分段速度函数

Fig. 2 Linear piecewise speed function

1.3 改进混合水平集模型

1.2节的混合水平集模型针对医学图像分割,取得了不错的效果。但它仍存在一些问题:1)脑组织提取是一个半全局的图像处理过程,混合水平集模型容易陷入局部收敛;2)尽管一些基于梯度的模型有着较好的收敛能力,但由于脑组织及其周围组织之间的边界不明显,并不存在明显的梯度,这些模型就有可能失去作用;3)式(1)中第1项仅采用线性关系来描述区域信息太过简单,往往会导致边界泄漏。

为了解决以上问题,在水平集运算中定义一个新的非线性分段速度函数。该速度函数取决于输入图像中任一像素点的灰度值 $I(x, y)$,和由该像素点邻域(N_1 和 N_2)范围中3个统计值 $I_{\max}$ 、 $I_{\min}$ 和 I_{μ} 定义的区域项 I_r ,以及ROI内的灰度平均值 μ 和灰度最大值

I_m 。这里,规定 N_1 的大小为 40, N_2 的大小为 20。

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = D(I) + \beta \operatorname{div}(g(I_r) \nabla \phi) \quad (5)$$

式中, $D(I)$ 定义为

$$D(I) =$$

$$\begin{cases} -\exp\left(-\frac{I-\mu}{I_m-\mu}t\right) & I < \mu \\ \exp\left(-\frac{I-\mu}{I_m-\mu}t\right) - \\ \exp\left(-\frac{2(I_m-\mu)-(I-\mu)}{I_m-\mu}t\right) & I \geq \mu \end{cases}$$

$$I_r = \sqrt{\frac{|I_{\max} - I_{\min}| + |I_\mu - I|}{2}}$$

$$\mu = \operatorname{avg}(I(\text{ROI}))$$

$$I_m = \max(I(\text{ROI}))$$

$$I_{\max} = \max(I(N_1))$$

$$I_{\min} = \min(I(N_2))$$

$$I_\mu = \operatorname{avg}(I(N_2))$$

如图 3 所示,位于 $[\mu, I_m]$ 灰度范围内的像素就可以被认为是脑组织内部。而位于脑组织边界外但在 ROI 内的像素点的灰度低于 μ (如图 4 中白色箭头所指区域所示)。因此,当像素点灰度值落在 $[0, \mu]$ 范围内时,设定 $D(I) \leq 0$ 使轮廓收缩来排除这些像素点。但是对于有些位于 ROI 中并有着很高的灰度值的组织(如图 4 黑色圆圈所在的眼球,其灰度值大于 I_m),如果轮廓线到达该区域,轮廓会迅速

扩张越出脑组织边界,结果变得很差。为了避免这种情况,同样当像素点灰度值落在 $[I_m, 1]$ 范围内时,设定 $D(I) \leq 0$,使活动轮廓收缩去排除这些像素点。而在 $[\mu, I_m]$ 范围内的像素点,则使 $D(I) > 0$,控制轮廓向外扩张。方程中的速度项参数为 t ,如图 3 所示,在灰度值范围 $[0, I_m]$ 内,参数 t 对轮廓收缩或扩张的影响是相反的。增加 t 可以减缓轮廓扩张速率同时提高轮廓收缩速度,降低 t 则会减缓轮廓收缩而加速轮廓扩张。故当弱边界处发生泄漏现象时,可以通过增大 t 来降低轮廓扩张速度,加快收缩速度,避免边界泄漏的产生。

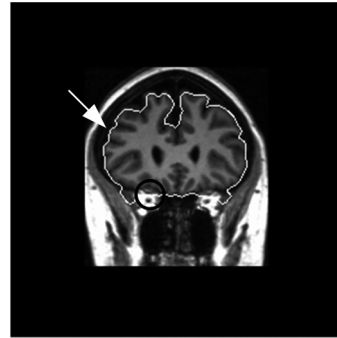


图 4 两种不同脑组织边界特点

Fig. 4 Two different characteristic edges on brain boundary

与普通的混合水平集模型另一不同点是,本文采用的速度函数中的平滑项由区域值 I_r 而非图像梯度来定义。这是因为在脑部 MRI 图像弱边界处梯度不明显,不足以使轮廓演化停止。而在灰质和白质之间的梯度值较大,靠近脑组织边界处图像亮度不均匀且存在很强的噪声。如果采用图像梯度作为平滑项,很容易出现边界泄漏或者轮廓会收敛在白质和灰质之间。图 4 所示白色箭头所示暗区和黑色圆圈所示贴近脑组织边界区域均有较高的 I_r ,则这两个区域在边界处的演化速度将会减缓而不至越出边界,不容易出现边界泄漏现象。

2 实验结果及分析

为了验证本文方法的提取精度,采用 IBSR 网站 (Internet Brain Segmentation Repository, www.cma.mgh.harvard.edu/ibsr/) 中的 18 组标准 T1 加权磁共振图像作为实验数据。这些图像是由哈佛医学院的形态学分析中心开发的,每幅图像均

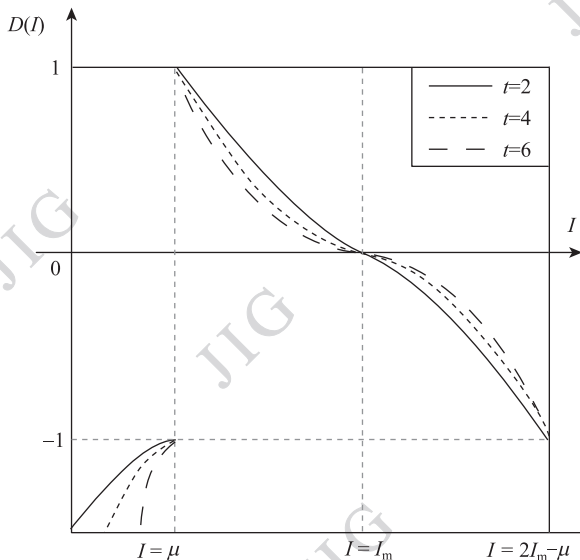


图 3 新型非线性分段速度函数的数据项

Fig. 3 The nonlinear piecewise data term in the new speed function

配备有相应的标准人工分割结果。每组图像包含有 128 个冠状切片,每片为 256×256 像素,切片厚度为 1.5 mm。实验软件为 Matlab2009,实验电脑配置为 Intel i7-2600 CPU,3 GB 内存。本文方法处理一组 MRI 图像耗时为 10 min 左右,而 BET 和 BSE 仅需 3 s 左右。在程序中,只有方程式(5)中的两个参数 β 和 t 需要用户自行设置。 β 设置范围为 $[0.3, 1.3]$,间隔为 0.1, t 的设置区间为 $[4, 9]$,间隔为 1。

采用上述的 IBSR 数据集,将本文方法、BSE, BET, WAT, HWA 和 GCUT 分别与 IBSR 中提供的手动分割结果作对比,进行评价参数的比较,分别计算了 Jaccard 系数(JS)、Dice 系数(DS)、假阳性(FP),假阴性(FN)。各方法的参数结果如表 1 所示。

上述评价参数介绍如下:

1) 相似系数 采用 Jaccard 相似系数(JS)和 Dice 相似系数(DS),定义为 $JS = \frac{|M \cap N|}{|M \cup N|}$, $DS = \frac{2|M \cap N|}{|M| + |N|}$,其中 M 为提取结果, N 为对应的手动分割标准。

2) 分割误差(FP 和 FN)

$$FP = \frac{|M| - |M \cap N|}{|N|}$$

$$FN = \frac{|N| - |N \cap M|}{|N|}$$

WAT, HWAT 和 GCUT 这 3 种方法的 JS 、 DS 、 FP 和 FN 的数据取自文献[5]。BET 的所有结果来自于 MRICro 软件,而 BSE 的所有的结果来自于 BrainSuite 软件。

由表 1 可以看出,本文方法的 JS 、 DS 系数高于表 1 列出的所有其他方法,但在 FN 和 FP 系数性能上低于其他某些方法。通常来说, FN 和 FP 越小,提取结果越准确。不过,只要提取结果包括所有大脑组织, FN 就为 0,此时结果中也可能包含大量的非脑组织。同时,如果提取结果总是包含在脑组织内, FP 也等于 0。所以说一个算法仅仅具有较小的 FN 或 FP 率并不一定代表其结果非常准确。一个准确、稳定的算法必须权衡考虑其 FN 和 FP 。而本文方法的 FP 和 FN 均低于 7%,表明本文方法在 FN 和 FP 上表现最为均衡。

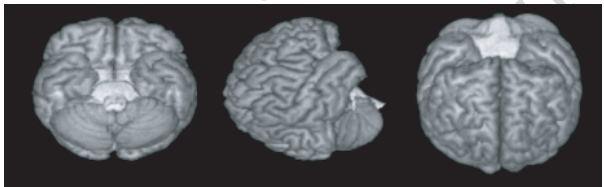
图 5 为某组图像分别采用本文方法, BET, BSE 以及人工提取得到的最终结果的 3D 显示。因本

文方法处理的是独立切片,故在最后的 3 维提取结果中,各切片之间存在一定的不连续性。尽管如此,本文方法在大脑表面沟、回和脑干等组织结构清晰度方面优于 BET 和 BSE,脑组织缺失和边界泄露现象也较少。从图 5 中可以很明显看到,在 BET 的结果中,小脑部分被剥离,BSE 的结果有大量边界泄露。

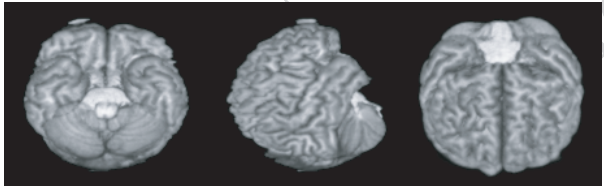
表 1 18 组 IBSR 数据实验结果平均值

Table 1 The average experiment results on 18 IBSR datasets

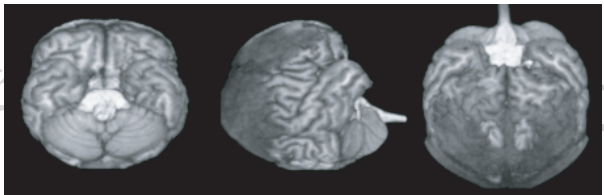
方法	DS	JS	FP	FN
BET	0.88	0.78	5.7	17.5
BSE	0.94	0.90	7.8	3.7
WAT	0.91	0.85	18.8	2.45
HWA	0.88	0.79	27.1	0.015
GCUT	0.91	0.84	19.3	0.029
本文	0.95	0.90	6.1	4.2



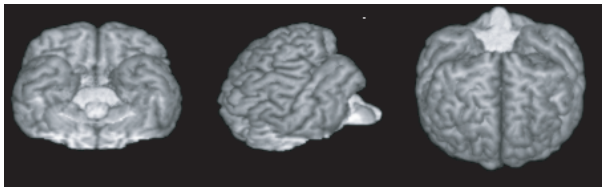
(a) 人工



(b) 本文方法



(c) BSE



(d) BET

图 5 不同方法 3 维提取结果比较

Fig. 5 The 3D extraction results from different methods

为验证本文方法对带病灶图像的处理能力, 从医院采集了脑膜瘤真实 MRI 图像序列, 分别采用本文方法、BET、BSE 以及人工提取进行处理, 图 6 为各种方法得到结果的独立切片显示。可以看到本文方法处理的结果最接近人工提取的结果,

肿瘤部分对脑组织提取未造大的影响, 可见本文算法对带病灶图像处理具有一定的鲁棒性。而在 BSE 的结果中, 肿瘤部分被剥离, BET 对带病灶图像处理也具有一定的鲁棒性, 但是有大量边界泄漏。

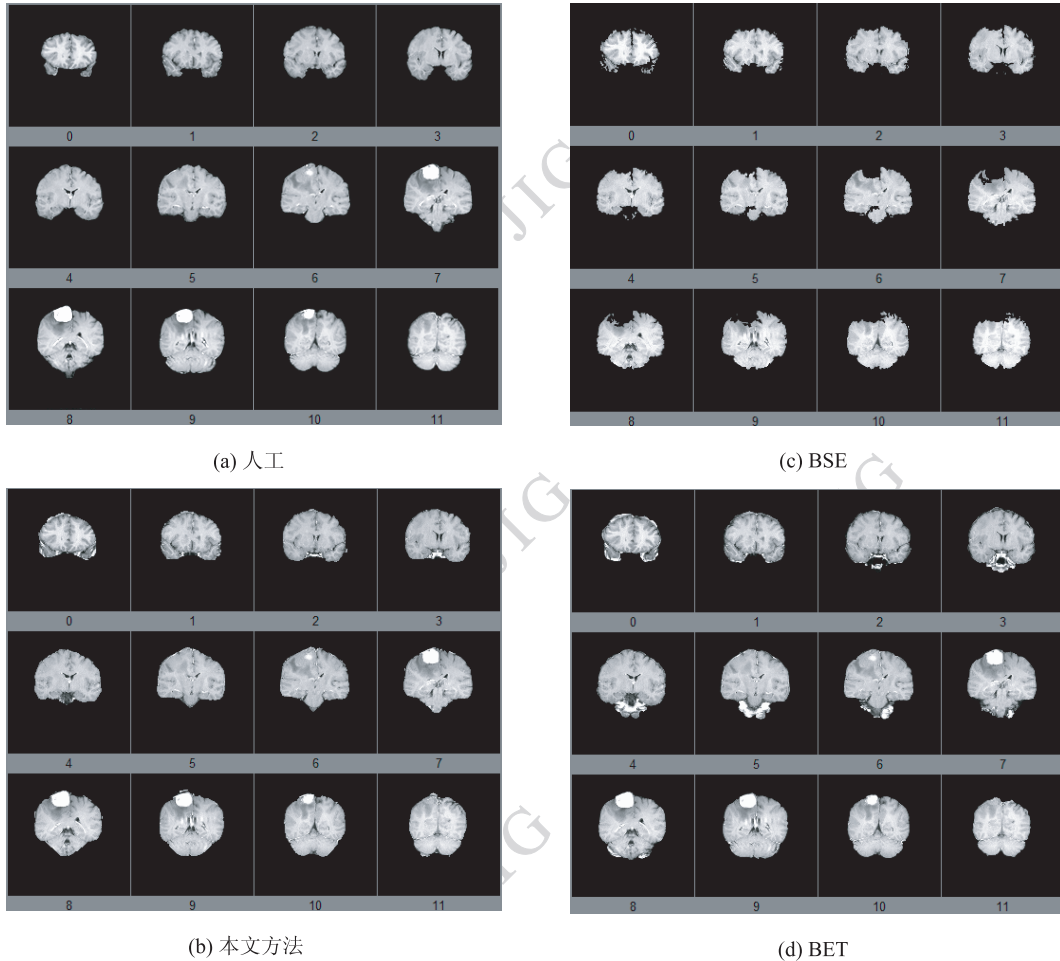


图 6 带病灶脑组织提取结果

Fig. 6 The brain extraction results from MRI with lesion

3 结 论

基于感兴趣区域的脑部 MRI 图像的脑组织提取方法, 具有准确性、稳定性。与现有的脑组织提取算法相比, 具有以下优势: 1) 采用基于 BET 的逐层的初始化方法。这种初始方法可以获得一个非常贴近大脑边界的稳定的初始轮廓, 然后定义一个包括大部分真实脑组织边界的 ROI, 确保水平集最终能够得到真实的脑组织边界。2) 该方法是在 ROI 内采用新的混合水平集方法演化得到轮廓。

因 ROI 基本是位于真实脑组织边界附近, 故在其内部不断迭代演化得到的最终轮廓是准确和稳定的。3) 采用非线性速度函数的新混合水平集模型, 可以有效地消除边界泄漏。因此, 该提取方法与其他方法相比, 具有较高的准确性和鲁棒性。但是该模型是基于 T1 加权 MRI 图像的灰度分布来设计的, 故该模型不适合其他类型的 MRI 图像处理。

虽然本文方法具有上述诸多优势, 不过在当前执行过程中还存在以下不足有待改进: 1) 计算消耗时间方面高于其他算法。在今后的工作中,

可以考虑采用 GPU 加速技术大幅度地减少计算时间。2) 有两个参数必须手动设置。如果参数设置不合理, 提取的结果可能不理想。如何采用机器学习的方法去估计这些参数是今后的另一项工作。3) 本文方法实施的是 2 维算法, 可能在最后的 3 维结果中, 各切片之间部分会出现粗伪影。然而, 实验显示, 根据邻近切片之间皮层轮廓的相似度, 采取 2 维算法的提取结果比一些 3 维算法更准确, 这与文献[3]中的结论也是一致的。那么如何去除这些粗伪影结果是今后一项重要的工作。

参考文献 (References)

- [1] Smith S M. Fast robust automated brain extraction[J]. Hum Brain Mapp, 2002, 17(3): 143-155. [DOI: 10.1002/hbm.10062]
- [2] Shattuck D W, Sandor-leahy S R, Schaper K A, et al. Magnetic resonance image tissue classification using a partial volume model[J]. NeuroImage, 2001, 13(5): 856-876. [DOI: 10.1006/nimg.2000.0730]
- [3] Zhuang A H, Valentino D J, Toga A. Skull-stripping magnetic resonance brain images using a model-based level set[J]. NeuroImage, 2006, 32(1): 79-92. [DOI: 10.1016/j.neuroimage.2006.03.019]
- [4] Huang A, Abugharbieh R, Tam R, et al. MRI brain extraction with combined expectation maximization and geodesic active contours[C]// Proceedings of the 6th IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology. Vancouver, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2006: 107-111 [DOI: 10.1109/ISSPIT.2006.270779]
- [5] Sadananthan S, Zheng W, Chee M, et al. Skull stripping using graph cuts[J]. NeuroImage, 2010, 49(1): 225-239. [DOI: 10.1016/j.neuroimage.2009.08.050]
- [6] Shui W Y, Zhou M Q, Geng G H. Automatic extraction of brain from cerebral brain tissue extraction approach of magnetic resonance head images[J]. Journal of Software, 2009, 20(5): 1139-1145. [税午阳, 周明全, 耿国华. 磁共振颅脑图像的脑组织自动获取方法[J]. 软件学报, 2009, 20(5): 1139-1145.] [DOI: 10.3724/SP.J.1001.2009.03577]
- [7] Jia D, Yang J Z, Zhang Y F, et al. Automatic brain tissue extraction approach of serial magnetic resonance head images[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2011, 32(8): 1781-1787. [贾迪, 杨金柱, 张一飞, 等. 序列磁共振颅脑影像的脑组织自动提取方法[J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(8): 1781-1787.]
- [8] Han C J, Lin X B, Ma H C, et al. Inter-slice prior knowledge based automatic brain tissue extraction from magnetic resonance images of brain[J]. Biomedical Engineering and Clinical Medicine, 2011, 15(2): 111-115. [韩翀蛟, 林相波, 马慧超, 等. 基于层间先验知识从脑 MRI 图像中自动提取脑组织[J]. 生物医学工程与临床, 2011, 15(2): 111-115.]
- [9] Jiang S F, Wang W H, Chen W F, et al. Automatic extraction of brain from cerebral MR image based on improved BET algorithm[J]. Journal of Image and Graphics, 2009, 14(10): 2029-2034. [江少锋, 王文辉, 陈武凡, 等. 基于改进 BET 算法的 MR 颅脑图像脑组织自动提取[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(10): 2029-2034.]
- [10] Zhang Y, Matuszewski B J, Shark L K, et al. Medical image segmentation using new hybrid level-set method[C]// Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Biomedical Visualisation. London: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2008: 71-76.
- [11] Lefohn A E, Kniss J M, Hansen C D, et al. A streaming narrow-band algorithm: interactive computation and visualization of level sets[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2004, 10(4): 422-433. [DOI: 10.1109/TVCG.2004.2]