

## 脑白质损伤分割方法比较和策略改进

芮 波, 张道强

(南京航空航天大学 计算机科学与技术学院, 江苏 南京 210016)

**摘 要:** 当前对白质损伤分割研究的缺陷就是不能真正用于实时分割任务, 其主要原因是所用特征的表现性能较低. 针对此问题, 提出了新的数据处理方法和损伤分割特征. 方法通过划分数据减少处理数据量的同时采用分治策略, 区分处理白质灰质区域, 从而改善了整体白质损伤分割的性能. 在 ACCORD-MIND MRI 数据集上, 使用 SVM 分类器将该新特征和传统特征的分割性能作了比较. 实验结果表明, 该特征在白质损伤分割中优于传统的特征, 并能获得较好的分割结果和较快的分割速度.

**关键词:** 脑白质损伤; MRI; 白质损伤分割; 图像特征

**中图分类号:** TP391

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-7180(2011)10-0084-03

## WML Segmentation Methods Comparison and Strategy Improvement

RUI Bo, ZHANG Dao-qiang

(College of Computer Science and Technology, Nanjing University of  
Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** The shortage of current algorithm of White Matter Lesion Segmentation is not really can be used in real-time tasks. The main reason is the low performance characteristics to be used. To solve this problem, this paper proposes a new White Matter Lesion Segmentation feature and method of data processing to improve the performance of the White Matter Lesion Segmentation. This method uses Divide and Conquer and treats WM and GM differently. With the ACCORD-MIND data set of MRI and SVM classifier, we compare this new algorithm with traditional segmentation performance. The experimental results show that this feature is superior to the traditional features, and can obtain good segmentation results and fast segmentation speed.

**Key words:** white matter lesion; MRI; white matter lesion segmentation; image feature

### 1 引言

脑白质损伤(WML)分析可用于多种疾病的诊断、预测和研究.

基于计算机辅助的脑白质损伤分割研究起源 1990 年代, 文献[1]中首先提出了基于阈值的白质损伤分割.

近年来, 基于 Boosting 和支持向量机(SVM)的分割方法也被用于 WML 分割. 文献[2]中使用 SVM 对 35 个存在白质损伤个体的脑部 MRI 图做了分割分析, 使用了多频谱脑图像亮度外加一些基

本特征组成特征向量, 相比此前单一的 T1 图像亮度特征有了较好的分割结果.

从白质损伤分割所选用的特征上看, 目前主要还是以 MRI 图像的亮度信息为主. T1 频谱图像是最早出现的 MRI 图像, 所以 T1 图像的亮度也是最早被使用的特征. 文献[1, 3]中使用亮度信息对 T1 图像进行白质损伤分割. 由于 T1 图像中损伤的白质区域和正常白质的亮度很接近, 甚至有些损伤亮度和灰质亮度相同, 所以造成分割困难. 研究者发现在某些频谱下的图像中损伤区域和正常区域有较明显的区别, 如 FL 图像. 因而, 越来越多的学者使用

不同频谱图像进行分割比较. 文献[4]中针对 PD 图像进行了分割, 文献[3]中针对 FL 图像分割, 而文献[2]中则同时使用了 T1、T2、FL 和 PD 共 4 种 MRI 图像的亮度信息.

本文提出了新的白质损伤特征和处理方法. 在改善分割效果的同时提高了算法的运行速度.

## 2 方法研究

本文实验数据采用 ACCORD-MIND MRI 数据集. 首先对数据进行对齐和配准, 我们使用了 HAMMER 配准算法[5]. 本文以 FL 图像为基准空间, 其他频谱的图像与其配准. 配准后去除头盖骨并对体素点的亮度进行了归一化操作[2]. 在训练分类器之前首先将上述预处理后的数据分割为白质(WM)和灰质(GM)两部分, 对两部分分别进行训练和分割, 然后将各自的分割结果整合构成最终分割结果. 整个实验过程如图 1 所示.

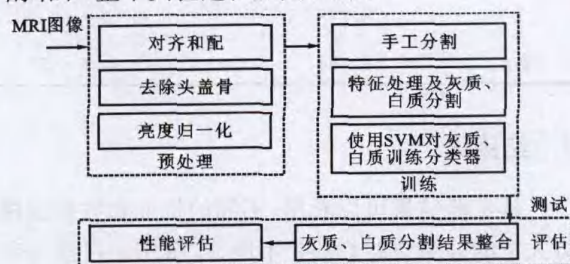


图1 算法流程图

### (1) 训练数据设计

算法以 slice 为单位训练分类器并分类. 即对于包含  $N$  个个体的测试数据集  $T_i (i = 1, 2, \dots, N)$  和包含  $M$  个个体的训练数据集  $D_j (j = 1, 2, \dots, M)$ , 每个个体图像  $T_i$  的分辨率为  $256 \times 256 \times 46$ . 则可将  $T_i$  看作由 46 层  $256 \times 256$  大小的切片(slice)组成. 为了对测试集  $T$  中个体的第  $k$  层进行分割, 则将  $D$  中所有个体的第  $k$  层组成子训练集. 该子训练集由  $M$  个大小为  $256 \times 256$  的切片组层.

### (2) 特征设计

对于所有的 3D 数据, 以当前体素点减去该体素所在切片的亮度均值作为特征, 如式(2):

$$I'(i, j, k) = I(i, j, k) - \frac{\sum_{i=1 \dots X, j=1 \dots Y} I(i, j, k)}{X * Y} \quad (1)$$

$$L(i, j, k) = \begin{cases} 0 & I'(i, j, k) \leq 0; \\ \lceil I'(i, j, k) \rceil & I'(i, j, k) > 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中,  $X, Y$  为切片的长和宽(本文  $X = Y = 256$ ),

$I'(i, j, k)$  为坐标为  $(i, j, k)$  处的体素的亮度值,  $\lceil \cdot \rceil$  符号为向上取整操作. 在获取该特征的同时将使大量的低于平均亮度的体素点变为 0, 实际上这些点往往是离白质损伤区域较远的灰质, 对训练分类器的意义不大. 这些点的去除大大减少了待处理的数据量, 提高算法的运行速度.

## 3 实验结果

实验环境为奔腾 R 双核主频 1.6 GHz、1 GB 内存. 本文选择了 ACCORD-MIND MRI 数据集中的 10 个 subjects 作为实验数据. 将其中的前 5 个 subjects 作为训练集, 后 5 个作为测试集. 对于所有的数据我们都进行了常规的预处理[5]. 使用线性 SVM 训练分类器时使用了交叉验证技术. 首先对多个典型特征和数据选择方式的表现性能进行了比较, 然后将我们提出的方法也与传统处理方式做了比较.

图 2 所示为本文方法同标准特征分割结果的比较, 其中白色区域为分割出来的 WML 区域, 可以看出本文处理后的结果较未处理的情况有较好的改进. 由于实验数据中的负类(非损伤体素)数量远大于正类, 导致各种方法的分割精度变化很微小, 所以我们仅使用了 ROC 曲线和召回率 Recall 作为性能的评价准则. 实验结果如图 3、表 1 所示. 其中图 3 中带圆圈线表示本文结果, 较未使用本文方法的标准处理结果有明显改进. 同时可以发现在只使用 seg 方法时也能取得较好效果. 表 1 中本文的平均结果已经标粗显示, 在召回率上本文处理比标准处理和 seg 方法都有明显改进.

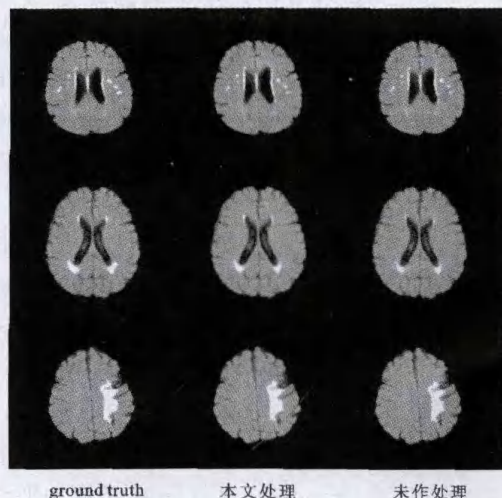


图2 本文特征和传统 SVM 分割部分结果比较

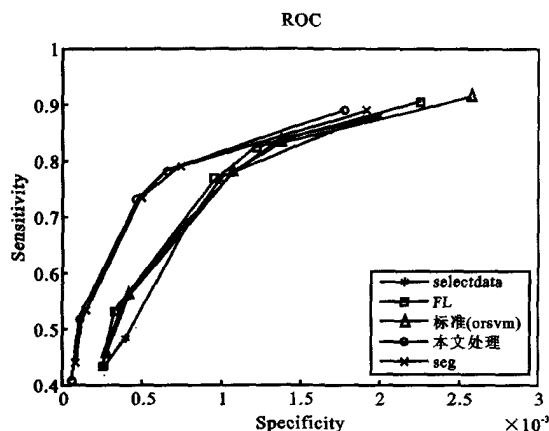


图3 ROC 曲线图

表1 不同特征的真实率 TP

| Subject | 不同特征  |       |         | 不同训练集处理 |              |
|---------|-------|-------|---------|---------|--------------|
|         | R_FL  | R_本文  | R_orsvm | R_seg   | R_selectdata |
| 1       | 0.537 | 0.619 | 0.453   | 0.587   | 0.424        |
| 2       | 0.216 | 0.240 | 0.332   | 0.238   | 0.620        |
| 3       | 0.384 | 0.425 | 0.373   | 0.398   | 0.236        |
| 4       | 0.435 | 0.389 | 0.396   | 0.415   | 0.351        |
| 5       | 0.557 | 0.526 | 0.490   | 0.527   | 0.550        |
| Avg     | 0.426 | 0.440 | 0.409   | 0.433   | 0.436        |

注: FL: FL 图像亮度; 本文: seg + 均值处理; orsvm: 文献[4]中标准处理; seg: WM 和 GM 分别分割; selectdata: 使用最近邻选择集合形状与待分割 slice 最相近的数据作训练集

从实验结果看出, FL 图像的分割效果较文献[4]中有一定提高. 同时可以看出直接对多频谱图像处理并不总是比只使用单频谱图像效果好. 另外, 从 R\_FL 和 R\_seg 来看, 将 MRI 图像先分为白质(WM)和灰质(GM)之后再各自分割损伤区域比混合分割有较好的效果. 因为白质损伤主要出现在白质区域, 而白质损伤区域的亮度和某些灰质区域的亮度接近, 因此混合分割时灰质的亮度将影响白质损伤的判断. 分开分割则能避免这种影响.

在性能对比的同时, 作者对使用本文所提出的方法消耗的时间同普遍的标准处理所消耗的时间做了对比, 结果见表2、表3. 表2是对同一个切片分割时间的对比, 实验时对同一 slice 做5次相同分割, 然后计算平均耗时. 表3是对同一个个体(subject)对不同参数下的分割时间消耗, 分别使用了5组不同的参数对同一个 subject 进行分割, 单次和平均耗时都较标准处理明显降低<sup>[6]</sup>.

表2 多次重复分割时间(s)对比

| 次数  | t_meanFL(本文) | t_FL   |
|-----|--------------|--------|
| 1   | 54.231       | 66.608 |
| 2   | 54.144       | 66.659 |
| 3   | 54.273       | 66.539 |
| 4   | 54.214       | 66.326 |
| 5   | 54.215       | 66.179 |
| Avg | 54.215       | 66.462 |

表3 不同参数下分割时间(m)对比

| 参数组 | t_meanFL(本文) | t_FL   |
|-----|--------------|--------|
| 1   | 23.733       | 26.215 |
| 2   | 16.832       | 22.931 |
| 3   | 23.937       | 22.313 |
| 4   | 23.599       | 32.241 |
| 5   | 28.228       | 37.199 |
| Avg | 23.266       | 28.180 |

## 4 结束语

从实验结果可以看出, 不同的特征和数据选择方式下的分割结果差别并不明显. 事实上目前白质损伤分割方法已有很多, 但可用的有效特征却非常少, 以图像的亮度信息为主. 虽然部分研究者试图使用传统图像处理中的特征, 如局部直方图和 haar 特征等. 但从实验来看这些传统特征并未对实验结果产生明显的影响. 所以新的有效的特征选择方法的提出将对能否高效的实施白质损伤分割起着关键作用. 这也是我们下一步将进行的工作.

## 参考文献:

- [1] Kapouleas I. Automatic detection of white matter lesions in magnetic resonance brain images[J]. Comput. Programs, Meth. Biomed, 1990(1): 17-35.
- [2] 任宁宁, 普杰信, 刘森. 基于小波变换和空间相关性 fMRI 数据[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(12): 64-69.
- [3] April Khademi, Anastasios Venetsanopoulos, Alan R Moody. Image enhancement and noise suppression for april khademi[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2010, 17(12): 867-869.

(下转第 90 页)

的改进蚁群优化算法:设计了一种多目标资源分配问题的可行方案构建机制,定义了蚁群优化算法中的信息素形式及其更新方式,提出了一种新的概率选择形式;通过以上改进有效地提高了蚁群优化方法的效率。

#### 参考文献:

- [1] Hou Y C, Chang Y H. A new efficient encoding mode of genetic algorithms for the generalized plant allocation problem [J]. *Journal of Information Science and Engineering*, 2004(20):1019-1034.
- [2] Matthias Ehrgott, Kathrin Klamroth, Christian Schwehm. An MCDM approach to portfolio optimization [J]. *European Journal of Operational Research*, 2004, 155(3):752-770.
- [3] Dai Y S, Xie M, Poh K L, et al. Optimal testing-resource allocation with genetic algorithm for modular software systems [J]. *Journal of Systems and Software*, 2003(66):47-55.
- [4] Osman M S, Abo Sinna M A, Mousa A A. An effective genetic algorithm approach to multi-objective resource allocation problems [J]. *Applied Mathematics and Computation*, 2005(163):755-768.
- [5] Lin Chiming, Gen Mitsuo. Multi-objective resource allocation problem by multistage decision-based hybrid genetic algorithm [J]. *Applied Mathematics and Computation*, 2007(187):574-583.
- [6] Shyu S J, Lin B M T, YIN P Y. Application of ant colony optimization for no-wait flow shop scheduling problem to minimize the total completion time[J]. *Computer and Industrial Engineering*, 2004(47):181-193.
- [7] Shyu S J, Yin P Y, Lin B M T, et al. An ant colony optimization algorithm for the minimum weight vertex cover problem[J]. *Annals of Operations Research*, 2004(131):283-304.
- [8] Yin P Y. Ant colony search algorithm for optimal polygonal approximation of plane curves [J]. *Pattern Recognition*, 2003(36):1783-1797.
- [9] Solimanpur M, Vrat P, Shankar R. Ant colony optimization algorithm to the inter-cell layout problem in cellular manufacturing[J]. *European Journal of Operational Research*, 2004(157):592-606.
- [10] Maniezzo V. Exact and approximate nondeterministic tree-search procedures for the quadratic assignment problem [J]. *INFORMS Journal on Computing*, 1999(11):358-369.
- [11] Yin Peng yeng, Wang Jing yu. Ant colony optimization for the nonlinear resource allocation problem [J]. *Applied Mathematics and Computation*, 2006(174):1438-1453.

#### 作者简介:

路秀英 女,(1977-),硕士,助教.研究方向为计算机应用技术.

崔兴凯 女,(1978-),本科,实验师.研究方向为计算机应用.

霍新丽 女,(1981-),硕士研究生,工程师.研究方向为计算机通信.

#### (上接第 86 页)

- [4] Azhar Quddus, Paul Fieguth, Otman Basir. Adaboost and support vector machines for white matter lesion segmentation in MR images[C]// *Proceedings of the 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference*. China: Shanghai, 2005.
- [5] Dinggang Shen, Christos Davatzikos. HAMMER: hierarchical attribute matching mechanism for elastic registration [J]. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 2002,21(1):1421-1439.
- [6] Songyang Yu, Dzung L Pham, Dinggang Shed, et al. Automatic segmentation of white matter lesions in T1-weighted brain MR images[C]// *Biomedical Imaging Proceedings IEEE*. USA: Washington, 2002:253-256.

#### 作者简介:

芮波 男,(1986-),硕士研究生.研究方向为图像处理、数据挖掘和CBIR.

张道强 男,(1978-),教授,博士生导师.研究方向为机器学习、模式识别、数据挖掘和图像处理.