



蹇木伟^{1,2} 王瑞红² 举雅琨² 朱呈瞻³ 董军宇²

基于方向特征显著性计算的 MRI 脑图像肿瘤检测

摘要

本文提出了一种利用方向性特征进行显著性建模的 MRI 脑图像肿瘤自动检测算法。该模型首先将 MRI 脑图像进行预处理,去除掉图像中头骨区域的干扰;然后使用基于方向特征的显著性检测增加病变区域的对比度,实现更准确地提取肿瘤图像区域。本文算法在脑图像数据集上进行了大量的实验,并且与主流的肿瘤自动检测方法进行了对比,证明了本文算法的有效性,并为医生提供可靠的辅助诊断和临床参考。

关键词

肿瘤检测;方向特征;显著性计算;显著性检测

中图分类号 TP391

文献标志码 A

收稿日期 2019-09-05

资助项目 国家自然科学基金(61601427,61976123);山东省科技计划(2016GSF201221);泰山学者青年专家计划项目

作者简介

蹇木伟,男,博士,教授,博士生导师,研究方向为计算机视觉与多媒体计算.20173016@sdufe.edu.cn

1 山东财经大学 计算机科学与技术学院,济南,250014

2 中国海洋大学 信息科学与工程学院,青岛,266000

3 青岛大学附属医院/山东省数字医学与计算机辅助手术重点实验室,青岛,266000

0 引言

由于视觉显著性检测在目标识别、图像的分割和自适应图像压缩以及基于内容的图像/视频检索等方面都有着广泛的应用^[1-4],因此,其在数字图像和模式识别等领域依然是当前的一个十分热门的研究方向^[5-8]。

同时,随着计算机技术的发展,现代医学的诊断和治疗方式也已经发生了翻天覆地的变化。在医学图像处理领域,磁共振成像技术(MRI)一直是研究大脑不可或缺的重要手段之一。实现脑部肿瘤的准确分割具有非常重要的医学应用价值。到目前为止,国内外学者已经提出了许多的图像分割方法^[9]。但是,由于脑肿瘤结构复杂、边界模糊且与正常脑组织混叠在一起,因此要实现脑肿瘤的精确自动分割仍具有一定的挑战性。目前,对于人类脑部医学图像的处理,错误的分割结果往往会带来非常严重的后果。因此,由于缺乏准确性,当前已有的方法都还无法应用在临床医学当中,还是以人工分割的结果为主。

另一方面,由于医学图像的数据量非常庞大,若全部由专业人员进行手动分割,既费时费力,而且在分割的过程中还存在着主观因素的影响,容易导致分割的结果不具有重复性。因此,如何实现医学图像的全自动分割,到目前为止仍旧是广大研究人员需要不断研究的课题。有鉴于此,本文研究如何建立高效准确的显著性检测模型,能实现脑图像中的显著性目标物体的检测,并且将显著性应用到医学 MRI 脑图像当中,可以快速准确地找到所需要的有用信息,对后续的医学影像辅助诊断和促进医学肿瘤的自动检测分割有着深远而重要的意义。

1 提出的方法

为了解决上述问题,本文介绍了一种基于方向特征显著性模型的 MRI 脑图像肿瘤检测方法。首先,为了克服颅骨的影响,我们利用数学形态学方法去除 MRI 脑部图像的头骨区域。然后,使用方向特征的显著性检测来提取图像中的肿瘤区域的对比度。最后通过噪声消除、分割和一系列形态学操作对分割结果进行优化。经过大量 MRI 肿瘤图像实验表明,该方法是有用的。基于方向特征显著性计算模型的 MRI 脑图像肿瘤检测框架如图 1 所示。

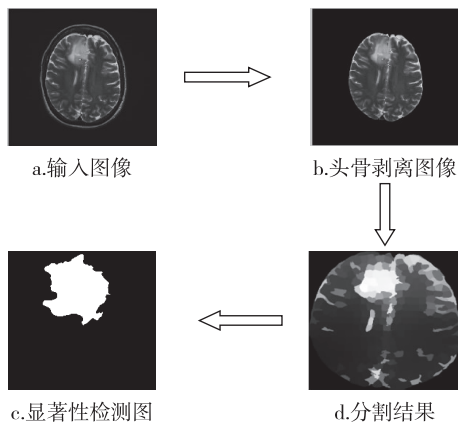


图1 基于显著性检测的MRI脑图像肿瘤检测框架
Fig.1 Frame of the MRI image tumor detection based on saliency computation

1.1 颅骨剥离

由于头骨的密度相对较大,产生的MRI图像与病变区域在图像的显示上具有相似性,因此对病变区域的显著性检测存在着较大的干扰.在对图像进行显著性检测之前,需要把图像的头骨部分去掉.形态学是一种有效的图像处理方法,在本节中使用形态学的方法作为预处理步骤来去除颅骨骨架并确定大脑区域.基于形态学的颅骨剥离算法步骤描述如下:

1)将原始输入图像转换为灰度图像;

2)将高斯拉普拉斯(LoG)边缘检测算法应用于图像,检测图像的边缘信息;

3)使用结构元素 $B=[0\ 1\ 0;1\ 1\ 1;0\ 1\ 0]$ 对图像进行膨胀形态学操作,然后使用半径为1的圆形结构对边缘图像进行闭合形态学操作;

4)找到最大连通分量;

5)对最大连通分量中的孔洞进行填充以获得模板;

6)将模板与原始输入图像相乘,获得最终分割的脑组织图像.

图2展示的是颅骨剥离步骤结果示例图,并显示了每个颅骨剥离步骤的结果.

1.2 基于方向特征的显著性检测

图像显著性作为一个重要的视觉特征,它反映了图像各个区域在人眼中的重要程度.往往视觉对比度和方向特征越明显的区域对人眼的刺激越大,因此这部分区域在人眼中的视觉重要程度就越大.对于MRI脑图像而言,由于病变区域与脑组织在密度上的差异,导致其成像时的水平、垂直、对角线方向所形成外观对比度存在明显不同,因此病变区域显然就是脑组织复杂背景中的一个显著性对象.基于这一方向性对比度观察,本文利用了一种基于方向特征的显著性模型^[8],用于MRI脑图像肿瘤的自动检测之中,从而构建一套完整的医学辅助系统实

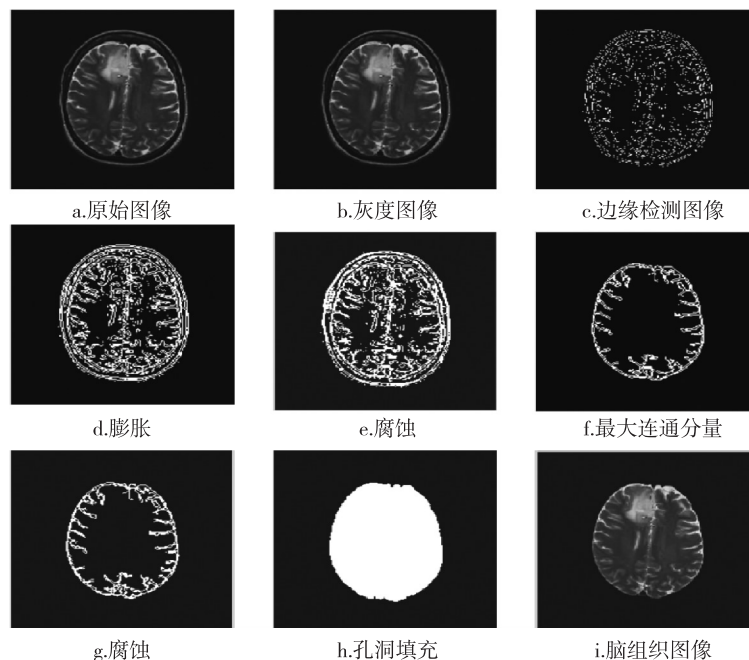


图2 颅骨剥离步骤结果示例

Fig.2 Preprocess MRI image to remove skull interference

现检测和定位 MRI 脑图像中的肿瘤区域大小和形态.该方法鲁棒性好,使其特别适用于高精度肿瘤检测和显著性计算任务,其基本思想简单概括如下:

人类视觉系统(HVS)存在着方向性特征感知,因此图像中的方向信息是人类视觉系统感知和理解图像非常重要的潜意识刺激^[4].方向性视觉线索不受图像具体内容的影响,旨在模仿人类视觉系统在显著性检测过程中如何感知方向性的视觉刺激^[10].根据信号处理理论,离散小波帧变换(DWFT)^[11]是在离散小波变换(DWT)的基础上进行的改进,并且可以以多分辨率分析(MRA)的方式反映不同尺度上图像方向特征的变化^[12-13].二维图像信号的离散小波帧变换(DWFT)变换的形式如下:

$$W_{\phi}(j_0, m, n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f\phi_{j_0, m, n} \uparrow 2^j, \quad (1)$$

$$W_{\psi^H}(j_0, m, n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f\psi_{j_0, m, n}^H \uparrow 2^j, \quad (2)$$

$$W_{\psi^V}(j_0, m, n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f\psi_{j_0, m, n}^V \uparrow 2^j, \quad (3)$$

$$W_{\psi^D}(j_0, m, n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f\psi_{j_0, m, n}^D \uparrow 2^j, \quad (4)$$

其中, $M \times N$ 表示输入图像 $f(x, y)$ 的大小; j_0 是一个任意的初始尺度; $\phi(x)$ 是一个尺度函数, $\psi^i(x)$, $i = \{H, V, D\}$ 是小波基函数; H 表示水平方向高频信息, V 表示垂直方向高频信息, D 表示对角线方向高频信息.

与离散小波变换(DWT)类似,具有 J 分解层次的离散小波帧变换(DWFT)产生总共 $3 \times J$ 个细节子图(Sub-band) 和一个近似子图.离散小波帧变换(DWFT)的优点在于避免了离散小波变换(DWT)时的下采样操作,使得离散小波帧变换(DWFT)产生的子图与输入图像具有相同的尺寸大小,从而方便后续显著性检测过程的计算.因此,由于所有垂直、水平和对角线方向性子图与原始图像具有相同的大小尺寸,所以可以直接将这些不同的方向性子图融合在一起,最终构建了一个复合方向性图开展显著性值计算,从而得到显著性图用于检测和定位显著性对象或区域^[8].

图3展示了基于方向特征的MRI脑图像显著性检测的一些结果示例.从图3中可以看到显著性检测的效果非常明显.

1.3 肿瘤区域提取

肿瘤区域的检测提取分为两个步骤:第1步是

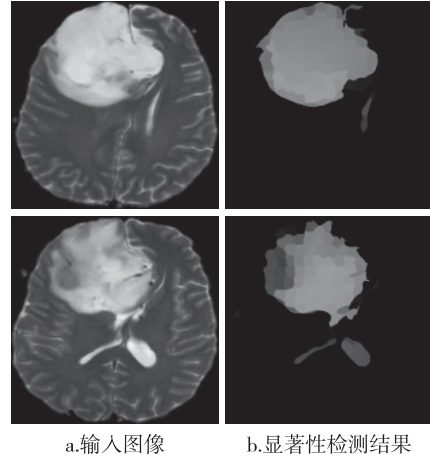


图3 基于方向特征的显著性检测

Fig. 3 Results of saliency detection based on directional features

对MRI显著性图进行处理,增强图像的对比度;第2步是使用形态学操作提取肿瘤病变区域.算法的具体步骤如下:

- 1) 将MRI显著性图转化为灰度图像;
- 2) 使用中值滤波器处理图像以增强图像的质量;
- 3) 使用形态学操作处理图像;
- 4) 通过阈值分割将肿瘤区域提取出来.

2 仿真结果与性能比较

本文使用形态学的颅骨剥离算法和基于方向特征的显著性检测算法,对MRI脑图像进行肿瘤区域的检测及提取.实验是在Intel Core 3.7 GHz, Windows 7 PC上进行的,使用Matlab编程语言进行图像处理操作.当在MRI脑图像中提取肿瘤区域时,首先将图像转换成 512×512 像素大小.MRI脑图像数据集包含了120张MRI图像,并在这些图像上进行了肿瘤自动检测实验.为了突出显示肿瘤区域,肿瘤区域以外的部分全部被设置为黑色(value = 0).图4给出了一些实验结果的示例,从图4中可以看出,本文的方法实现了更好的检测结果.

为了客观地评价不同的方法,本文采用了广泛使用的灵敏度、特异性和Dice系数来评估不同方法的实验结果^[9].其中灵敏度也称作真阳性率、召回率,指的是实际的样本中判断其为阳性的比例;特异度也称作真阴性率,指的是实际为阴性的样本将其判断为阳性的比例;Dice系数反映了与Jaccard指数相关的相似性度量.

从表1中的性能指标比较可以看出,本文所提

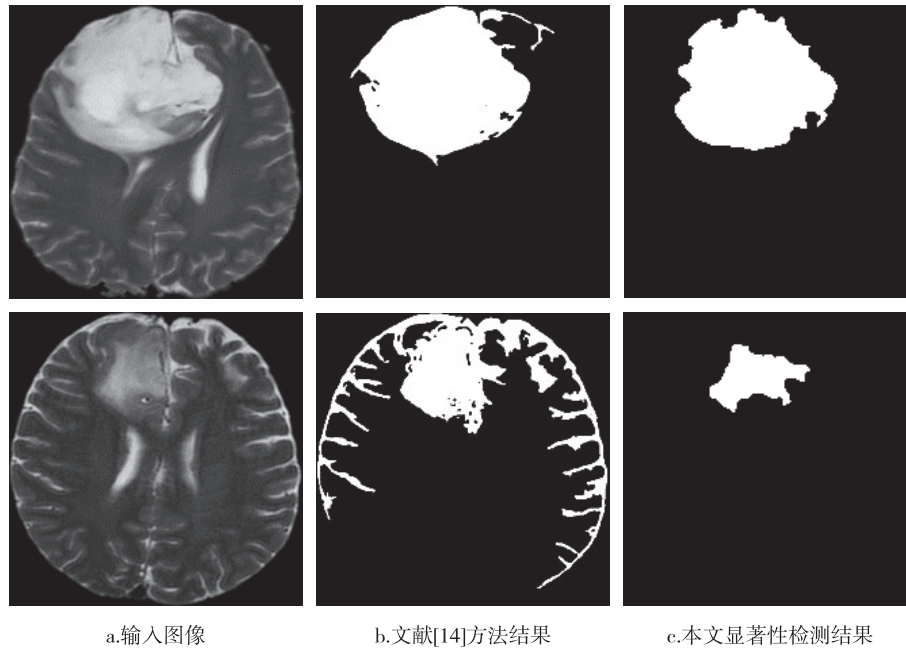


图4 不同算法的实验结果比较

Fig. 4 Comparison of experimental results between our algorithm and method in Ref.[14]

出的算法在灵敏度、特异度和 Dice 系数等方面相较于其他方法取得了较好的实验结果,证明了本文方法的有效性.

表1 本文方法与其他方法的性能比较

Table 1 Performance comparison with typical algorithms					
性能	经典 K-means	文献[14]	文献[15]	文献[16]	本文方法
灵敏度	0.798 5	0.831 1	0.785 6	0.811 5	0.871 9
特异度	0.670 8	0.826 1	0.836 0	0.807 8	0.864 5
Dice 系数	0.731 5	0.813 3	0.786 7	0.801 6	0.857 7

3 结束语

本文针对实际医学应用中的脑图像肿瘤区域自动提取问题,设计了一种基于方向特征的 MRI 脑图像显著性建模及自动肿瘤检测方法,该系统有利于脑部疾病的辅助诊断和治疗.同时,系统提供的肿瘤区域的大小和形状也有助于确认肿瘤的存在,及判断其良性程度和钙化程度,并有利于对治疗方法做出更好的方案.大量的 MRI 脑图像实验结果表明,该方法可以取得良好的效果,且易于实际医学工程实现.

参考文献

References

[1] Itti L, Koch C, Niebur E. A model of saliency-based visual

attention for rapid scene analysis[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(11):1254-1259

[2] Liu T, Yuan Z J, Sun J, et al. Learning to detect a salient object[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 33(2):353-367

[3] Toet A. Computational versus psychophysical bottom-up image saliency: a comparative evaluation study[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 33(11):2131-2146

[4] Jian M W, Lam K M, Dong J Y, et al. Visual-patch-attention-aware saliency detection[J]. IEEE Transactions on Cybernetics, 2015, 45(8):1575-1586

[5] Borji A, Sihite D N, Itti L. Quantitative analysis of human-model agreement in visual saliency modeling: a comparative study[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2013, 22(1):55-69

[6] Jian M W, Lam K M, Dong J Y. Facial-feature detection and localization based on a hierarchical scheme[J]. Information Sciences, 2014, 262:1-14

[7] Jian M W, Qi Q, Dong J Y, et al. Integrating QDWD with pattern distinctness and local contrast for underwater saliency detection[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2018, 53:31-41

[8] Jian M W, Zhang W Y, Yu H, et al. Saliency detection based on directional patches extraction and principal local color contrast[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2018, 57:1-11

[9] 王超,王浩,王伟,等.基于优化 ROI 的医学图像分割与压缩方法研究[J].重庆邮电大学学报(自然科学版),2015,27(2):279-284

WANG Chao, WANG Hao, WANG Wei, et al. Study of optimized ROI based medical image segmentation and

- compression method[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications (Natural Science Edition), 2015, 27(2): 279-284
- [10] Jian M W, Dong J Y, Ma J. Image retrieval using wavelet-based salient regions [J]. The Imaging Science Journal, 2011, 59(4): 219-231
- [11] Unser M. Texture classification and segmentation using wavelet frames[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1995, 4(11): 1549-1560
- [12] Mallat S G. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1989, 11(7): 674-693
- [13] Daubechies I. The wavelet transform, time-frequency localization and signal analysis [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1990, 36(5): 961-1005
- [14] Sandeep N, Vikram D R. Brain tumour extraction functioning from MRI images using MATLAB [J]. International Journal of Innovative Technologies, 2016, 4(2): 0329-0332
- [15] Zhang Y D, Wu L N. An MR brain images classifier via principal component analysis and kernel support vector machine [J]. Progress in Electromagnetics Research, 2012, 130: 369-388
- [16] Hati A, Chaudhuri S, Velmurugan R. An image texture insensitive method for saliency detection [J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2017, 43: 212-226

Tumor detection in brain imaging based on saliency computation of directional features

JIAN Muwei^{1,2} WANG Ruihong² JU Yakun² ZHU Chengzhan³ DONG Junyu²

1 School of Computer Science & Technology, Shandong University of Finance and Economics, Ji'nan 250014

2 College of Information Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266000

3 Shandong Key Laboratory of Digital Medicine and Computer Assisted Surgery,
The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao 266000

Abstract In this paper, an algorithm for detecting brain tumors in MRI images based on directional features and saliency modeling is proposed. The designed model first preprocesses the MRI brain images to remove the interference from the skull region of the image, and then uses saliency detection based on directional features to increase the contrast of the lesion region, so as to more accurately extract the region of the tumors. Extensive experiments have been carried out on the brain image dataset and compared with several other saliency detection methods, which proves the effectiveness of the algorithm and provides reliable auxiliary diagnosis and clinical reference for doctors.

Key words tumor detection; directional features; saliency computation; saliency detection