

图像分析技术在舌诊客观化中的应用

沈兰荪,王爱民,卫保国,王永刚,赵忠旭

(北京工业大学信号与信息处理研究室,北京 100022)

摘 要: 舌诊是中医四诊的重要内容,为历代医家所重视,是辩证论治的主要依据。中医舌诊的客观化研究,对于中医辩证规范化及中医临床、教学、科研手段的现代化,具有重要的意义。本文对中医舌诊客观化涉及的图像分析技术进行了研究,提出了舌图像的彩色校正、舌体区域分割、舌质与舌苔特征分析、舌象裂纹分析等一系列实用的算法,并通过研制的中医舌象分析仪的临床应用证明了这些算法的有效性。

关键词: 舌诊客观化; 图像分析; 彩色校正; 舌体分割; 舌质分析; 舌苔分析; 舌象裂纹分析

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2001) 12A-1762-04

Image Analysis for Tongue Characterization

SHEN Lan-sun, WANG Ai-min, WEI Bao-guo, WANG Yong-gang, ZHAO Zhong-xu

(Signal & Information Processing Lab., Beijing Polytechnic University, Beijing 100022, China)

Abstract: Tongue Diagnosis is one of the essential methods of traditional Chinese medical diagnosis. The accuracy of tongue diagnosis can be improved by tongue characterization. This paper investigates the use of image analysis techniques for tongue characterization by evaluating visual features obtained from images. Several algorithms are presented for color calibration, tongue area segmentation, feature analysis for the tongue and its coating and quantification of the cracks of the tongue. The clinical application shows the effectiveness of the algorithms.

Key words: tongue characterization; image analysis; color calibration; tongue segmentation; tongue analysis; tongue coating analysis; tongue crack analysis

1 引言

舌诊,是通过观察舌象的变化,了解机体生理功能和病理变化的一种诊察方法,是中医四诊的重要内容,为历代医家所重视,是辩证论治的主要依据^[1]。传统的舌诊依赖于医生定性观察,具有主观性,重复性也差,给舌诊的进一步发展带来严重的困难。因此,对中医舌诊的客观化进行研究,对于中医临床、教学、科研手段的现代化,推动现代信息科学与祖国传统医学的交融发展,具有重要的意义。

近十余年来,舌诊客观化的研究受到普遍重视^[2,3],已有的工作已经证明图像分析技术用于舌诊客观化的可行性。但现有的研究一直未能解决舌象采集中的颜色失真,也未实现一些重要舌象特征的自动定量分析技术。已有研究多采用统计方法对色度值进行简单的线性判别。由于需人工选定被分析的舌质或舌苔区域,引入了主观因素的不良影响。这些都使目前已有工作难以满足中医的需求。

为推动基于图像分析技术的舌诊客观化的发展,我们对图像分析技术在舌诊客观化中的应用进行了深入研究^[4,5],提出了舌图像的彩色校正、舌体区域分割、舌质与舌苔特征分

析、舌象裂纹分析等一系列实用的算法,并通过临床应用证明了算法的有效性。所研制的中医舌象分析仪已在北京市中医院成功应用,采集并分析了上千幅舌图像。

2 舌图像的采集与彩色校正

舌象分析仪的系统结构如图 1 所示^[6]。在电动可升降式仪器平台上构成了一个封闭的成像环境。光源采用两只 OS-RAM 全光谱的 L18/72-965 BIOLUX 标准光源,显色指数 $R_a = 96$,色温为 6500K,光谱特性接近于平均昼光。光源的照明几何条件为 45/0。采用自制并经过标定的色标,用于舌象采集时的彩色校正。

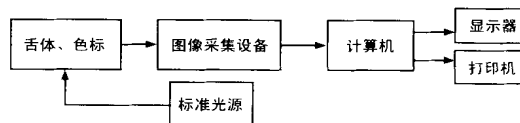


图 1 舌象分析仪的结构示意图

舌象分析仪的图像采集设备是数码相机,输出设备是计算机显示器(CRT),二者色域的不同,使得 CRT 显示的图像不

符合舌体本来的颜色。外界光源的变化、设备的随机噪声等也会影响舌象的彩色重现,直接影响中医对这种系统的接受。因此彩色校正正是舌图像分析中的关键步骤。

常用的彩色校正准则是三刺激值匹配^[7],但这种方法用于 CRT 显示时,有以下局限性:

⑧是一种非在线校正方法。校正时照明、设备的光学特性与实际使用时不可能完全相同,系统误差、随机误差都会影响校正后的彩色重现。

⑨校正准则是使色标拍摄前后的三刺激值匹配的误差最小。这些三刺激值是经仪器测量的色度值,虽然与设备无关,但与人眼的视觉感受并不完全一致^[8]。

⑩必须多次进行色度空间的转换,计算复杂度大,影响校正的实时性。

为此,我们提出了一种色貌评价与三刺激值匹配相结合的在线校正方法^[9]。其关键是将色标与舌体同时拍摄,校正模型的训练与使用也同时进行。利用色标数据求解模型参数,再将模型作用于整幅图像。因而在色标数据校正为标准数据的同时,舌体区的颜色也校正为较为真实的颜色。这样模型中的参数是根据每次拍摄的情况专门求解的,从而克服了由拍摄条件不稳定造成的误差对彩色重现效果的影响。



图2 舌象分析仪的彩色校正示意图

图2为彩色校正的示意图。对像机输出的 R_0 、 G_0 、 B_0 值转换为 R_1 、 G_1 、 B_1 后作为 CRT 的数字驱动,使得舌体区的颜色在 CRT 上真实重现。

为降低计算量,提高运算速度并保证校正后图像的质量,通过实验确定了项数为 10 的三元二阶多项式校正模型。在实际的校正过程中,由拍摄图像中色标的 RGB 三刺激值与对应色标的标准值,通过最小二乘方法确定校正模型的参数。色标的标准值由多次实验,通过主观的色貌评价和人工交互调整后图像中的色块色度值求平均获得。观察者由几位专业人士和非专业人士组成。

我们通过临床实验验证了彩色校正的效果。采用本文的方法,对拍摄的 446 幅就诊病人的舌图像进行校正后再显示在 CRT 上,彩色重现的效果均得到了中医专家的认可。

3 舌体区域分割

舌象分析仪所采集的数字化舌图像包括舌体区以及色标、面部等背景区。在分析舌象特征之前,需首先将舌体区分割出来。分割的效果将直接影响舌象特征分析的准确性^[10]。我们将样条 Snakes 模型用于舌体区域的分割。Snakes 又称作动态轮廓模型,是一种动态能量极小化曲线。它的最大特点是结合了图像的低层特征与高层知识,用于图像分割时,在鲁棒性、精确度、实用性等方面均优于传统方法^[11]。

本文选用基于 Catmull-Rom 样条函数的 Snakes 模型。它由 n 段曲线构成,其中第 i 段曲线 $Q_i(\tau)$ 由 4 个邻近的控制点 V_{i-1} 、 V_i 、 V_{i+1} 、 V_{i+2} 决定, τ 为样条模型的参数,可表示为

$$Q_i(\tau) = \omega_1^i(\tau) Q_1^i(\tau) + \omega_2^i(\tau) Q_2^i(\tau) \quad (1)$$

其中 $\omega_1^i(\tau)$ 、 $\omega_2^i(\tau)$ 为样条的线性弯曲函数, $Q_1^i(\tau)$ 为内插 V_{i-1} 、 V_i 、 V_{i+1} 的二阶多项式, $Q_2^i(\tau)$ 为内插 V_i 、 V_{i+1} 、 V_{i+2} 的二阶多项式,具体定义参见文[5]。此外,样条模型的参数 τ 的定义非常重要。这里采用非均匀参数化方法,使其正比于控制点间的 Euclidean 距离。

考虑到舌体轮廓的特点,将 Snakes 的能量函数定义为

$$E = \sum_{i=1}^n \left[\alpha \int_{\tau_i}^{\tau_{i+1}} \left| \frac{\partial Q_i(\tau)}{\partial \tau} \right|^2 d\tau + \beta \int_{\tau_i}^{\tau_{i+1}} \left| \frac{\partial^2 Q_i(\tau)}{\partial \tau^2} \right|^2 d\tau + \gamma_1 \int_{\tau_i}^{\tau_{i+1}} I(Q_i(\tau)) d\tau + \gamma_2 \int_{\tau_i}^{\tau_{i+1}} |\nabla I(Q_i(\tau))|^2 d\tau \right] \quad (2)$$

其中 $I(x, y)$ 为舌图像的增强变换函数^[5];权值参数 α 、 β 、 γ_1 、 γ_2 控制对轮廓连续性、平滑性以及图像特征的约束程度。

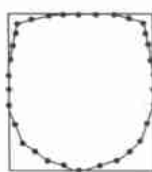


图3 舌体轮廓模板



图4 舌体区域分割结果示例
(原图为彩色图像)

在基于 Snakes 的分割算法中,首先必须进行轮廓的初始化。我们提出一种基于灰度投影与刚性模板的舌体轮廓初始化方法。舌体轮廓模板如图3所示,该模板也采用样条 Snakes 模型进行描述。初始化时先根据舌图像的灰度投影特性,确定舌体外矩形边界的大小和位置,再根据舌体轮廓模板的刚性形变参数,确定初始控制点和轮廓。

在舌体区域的分割中,由于唇区边界的干扰等原因,Snakes 能量函数极小化的全局最优解不一定是所需的轮廓。考虑到初始轮廓位于真实轮廓的附近,我们采用了简便、快速的局部优化算法:Greedy 算法^[12]。

采用上述方法对 441 幅实际舌图像进行了分割实验,分割正确率约为 82%。分割结果如图4所示。图中白色曲线表示分割出的舌体轮廓。

4 舌质、舌苔特征分析

舌质与舌苔的特征主要包括舌质的颜色、舌苔的颜色、舌苔的分布、舌苔的厚度等^[13,14]。中医舌诊时先观察局部,再进行总体描述。描述时主要强调具有辩证意义的特征。因此,我们采用了先进行舌体区域的像素识别(局部分析),再进行总体描述的分析步骤。

舌体区像素识别的类别数设为 15 种。这是一个典型的小样本问题,因此采用基于结构风险极小化的支撑向量机(SVM)模式识别方法^[15],以获得最优的泛化能力。涉及的关键问题包括输入特征空间的选择、学习集的构成、核函数的选取、惩罚因子的选取等。

对每一个像素,取其 3×3 邻域的 RGB 均值作为特征向量。在若干典型图像中选出一系列图像子块,由中医专家逐块确定类别后构成学习集。

SVM 的惩罚因子 C 体现了对学习集的信任度。 C 越大,信任度越高。舌体像素识别中,由于类别数较多,可分性较差,通过实验选取 $C = 400$ 。

不同的核函数对应学习机在输入空间中具有不同类型的非线性决策面。我们试验了常用的多项式、径向基函数(RBF)、神经网络等核函数形式。最终应用的核函数为 RBF,其形式为

$$K(x, y) = e^{-x-y^2/2\sigma^2} \quad (3)$$

式中 σ 是一个重要的参数,决定着 RBF 核函数的具体形式。通过实验选取 $\sigma = 50$ 。

经典的 SVM 一般针对两类识别问题,而舌体区域像素识别是一个多类问题。可以采用决策树的方法,将两类分类器用于多类模式识别。决策树的每个非叶子节点代表一个支撑向量分类器。决策树的结构可以根据人工经验确定,也可以采用分级聚类方法得到。

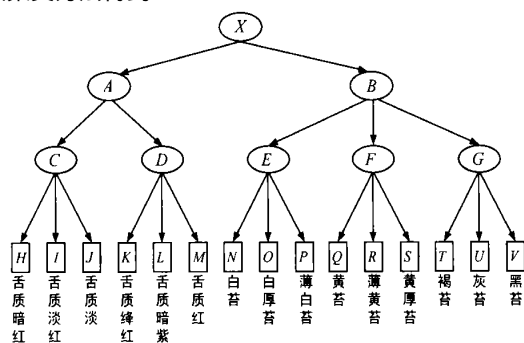


图 5 用于多类分割的决策树示意图

我们采用分级聚类并优化后得到的决策树如 5 图所示。识别时由根节点出发,用与该节点相应的分类器进行分类,直至到达某个叶节点,即得到该像素的最终识别结果。

为了使分析结果易于理解和临床应用,必须进行舌质与舌苔的定性、定量描述。将舌面划分为舌根、舌中、舌尖、舌左侧、舌右侧等 5 个区域,统计各分区中各种类型的像素数,再根据中医专家的舌诊习惯,对舌质、舌苔、舌苔厚度、舌苔面积等采用文字和伪彩色图两种方法描述。

表 1 临床实验结果

	舌色	苔色	苔厚
符合的图像(例)	248	294	282
符合率	82.67 %	98.00 %	94.00 %

我们对在北京中医医院拍摄的 300 例舌图像,进行了舌质、舌苔特征分析的实验,以是否符合中医专家的临床判断为评价标准。结果如表 1 所示。

图 6 给出了舌象的分析结果示例,包括 (a) 校正后并分割的图像; (b) 舌色、苔色分布伪彩色图; (c) 舌苔厚度分布伪彩色图; 以及 (d) 自动分析结果与中医诊察结果的比较。

5 舌象裂纹分析

舌面裂纹的深浅与多少也是一项重要的舌诊指标。本文提出一种基于多尺度边缘检测^[16]的分析方法,可以得到定量

化的裂纹指数,以反映裂纹的深浅与多少。算法框图如图 7 所示。

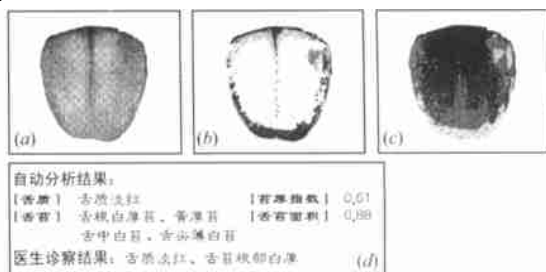


图 6 舌图像 32717 的分析结果(原图为彩色图像)



图 7 裂纹分析算法框图

图中裂纹指数的计算公式为

$$CRK = k \cdot \bar{G} \cdot \sqrt{\frac{10 \cdot N_e}{A}} \quad (4)$$

式中 k 为归一化系数, $\bar{G}$ 多尺度梯度响应的平均值, N_e 为多尺度梯度响应大于某一阈值的像素总数, A 为舌体区的像素总数。

可以看出,裂纹指数反映裂纹的多少和深浅,可以构成舌诊客观化的一项有意义的指标。

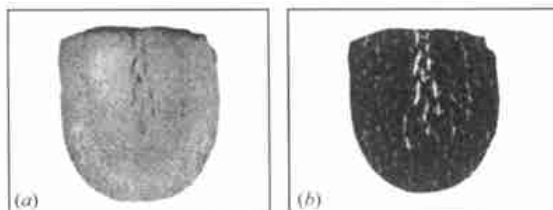


图 8 (a) 分割后的舌图像; (b) 多尺度边缘响应图(分析结果:裂纹指数 $CRK = 0.35$) (原图为彩色图像)

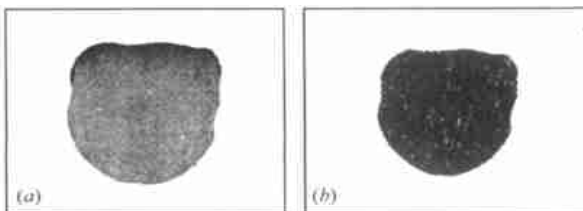


图 9 (a) 分割后的舌图像; (b) 多尺度边缘响应图(分析结果:裂纹指数 $CRK = 0.03$) (原图为彩色图像)

我们利用临床拍摄的 300 例舌图像进行了裂纹分析实验。部分结果如图 8 - 9 所示。其中图 8 所示舌象的裂纹较多且明显,其裂纹指数较大(0.35);图 9 所示舌象没有明显的裂纹,其裂纹指数仅为 0.03。

6 结束语

将图像分析技术应用于舌象分析仪,提高了舌象特征自

动分析的准确性和实用性,推动了舌诊客观化系统的发展.舌象特征分析与中医其它方向的研究相结合,以及在中医经验性的理论与精确的信息科学之间建立合理的联系,是我们进一步研究的重点.

参考文献:

- [1] 陈泽霖,等.舌诊研究[M].上海:上海科学技术出版社,1982.
- [2] 翁维良,等.中医舌象真彩色图像系统的研制与应用[J].实用中西医结合杂志,1995,8(24):1655.
- [3] 蒋依吾,等.电脑化中医舌诊系统[J].中国中西医结合杂志,2000,20(2):145-147.
- [4] Zhao Zhongxu, Wang Aimin, Shen Lansun, et al. An automatic Tongue Analyzer of Chinese Medicine Based on Color Image Processing [A]. ICEMI '99 [C], Harbin, China: 830-834.
- [5] 王爱民.用于舌诊客观化的图像分析技术的研究[D].博士学位论文.北京:北京工业大学,2001.
- [6] 赵忠旭,王爱民,沈兰荪.舌象分析仪中彩色校正的研究[J].电子测量与仪器学报,1999,13(3):1-5.
- [7] M Has, T Newman. Color Management: Current Practice and the Adoption of a New Standard. Technical Report, International color Consortium [S]. Available at <http://www.color.org>.
- [8] M C Stone, W B Cowan, J C Beatty. Color Gamut Mapping and the Printing of Digital Color Images [J]. ACM Transactions on Graphics, 1988, 7: 249-292.
- [9] 王永刚,王爱民,沈兰荪.舌象分析仪中舌色重现方法的研究[J].照明工程学报,2001,12(2):4-10.
- [10] Aimin Wang, Lansun Shen, Zhongxu Zhao. Color Tongue Image Segmentation Using Fuzzy Kohonen Networks and Genetic Algorithm [A]. Proceedings of SPIE [C], San Jose, USA, 2000, 3962: 182-190.
- [11] Tim McInerney, Demetri Terzopoulos. Deformable models in medical image analysis: a Survey [J]. Medical Image Analysis, 1996, 1(2): 91-108.
- [12] D J Williams, M Shah. A fast algorithm for active contours and curvature estimation [J]. CVGIP: Image Understanding, 1992, 55(1): 14-26.
- [13] 王爱民,沈兰荪,赵忠旭.监督 FCM 聚类算法及其在中医舌象自动分类中的应用[J].模式识别与人工智能,1999,12(4):480-485.
- [14] Wang Aimin, Shen Lansun, Zhao Zhongxu. Fuzzy Automatic Detecting the Thickness of Tongue-Covering From a Tongue image [A]. ICEMI '99 [C], Harbin, China: 863-867.
- [15] V N Vapnik. Statistical Learning Theory [M]. New York: JOHN WILEY & SONS INC., 1998.
- [16] SHEN Lansun, WANG Kongqiao, XING Xin. Automatic Human Face Location and Tracing in a Complex Background [J]. Chinese Journal of Electronics, 2000, 9(1): 65-69.

作者简介:



沈兰荪 男. 1938 年 6 月出生于江苏苏州. 教授, 博士生导师, 主要研究方向为智能化信息处理. 已发表论文 200 余篇, 出版“图像编码与异步传输”, “视频编码与低速率传输”等专著 11 本.



王爱民 女. 1970 年 10 月生于山东临沂. 北京工业大学信号与信息处理研究室博士研究生. 主要研究方向为彩色图像处理、医学图像分析、模式识别等.

卫卫国 男. 1970 年 9 月生于陕西乾县. 1993 年毕业于同济大学, 1999 年获西安交通大学硕士学位. 现为北京工业大学信号与信息处理研究室博士研究生, 主要研究方向图像处理和图像分析、模式识别等.