

# 基于 Otsu 阈值法与形态学自适应修正的舌像分割方法<sup>①</sup>

姜 朔<sup>②\*</sup> 胡 洁<sup>③\*</sup> 夏春明<sup>\*\*</sup> 戚 进<sup>\*</sup> 彭颖红<sup>\*</sup>

( \* 上海交通大学机械与动力工程学院 上海 200240 )

( \*\* 华东理工大学机械与动力工程学院 上海 200237 )

**摘 要** 为了从原始舌图像中精确分割出舌体以实现中医舌诊的客观化,提出了一种基于 Otsu 阈值法与形态学自适应修正的舌像分割方法。该方法提取原始舌像的 RGB 色彩空间与 HSV 色彩空间中 G、B、V 通道的信息,运用 Otsu 阈值法对舌像进行二值化,基于先验知识对目标区域进行聚类,采用形态学运算方法,利用舌体当量直径自适应选取结构元素的大小,对聚类结果进行开启运算修正得到舌像分割结果。基于 200 幅不同形态、不同舌色类别原始舌像的实验结果表明,该方法能稳定精确地分割出舌体,与传统的 Otsu 方法及灰度投影-Otsu 方法相比,准确率有了很大的提升。

**关键词** 图像处理, 舌诊客观化, 舌像分割, Otsu 阈值法, 形态学运算

## 0 引 言

舌诊是中国传统医学中望诊的重要项目,它通过观察舌质、舌苔等舌像特征的变化情况对病人作出诊断,在部分的临床诊断过程中具有重要意义。舌诊存在的问题是主观性强,无法精确量化,结果难以记录<sup>[1-3]</sup>,因而其发展受到了限制。将计算机技术与中医理论相结合的舌诊客观化成为了现代中医舌诊发展的方向,其核心技术是舌像分割,即舌体图像的自动分割,舌像分割结果将直接影响后续分析的准确性<sup>[4-6]</sup>,所以如何保证舌像分割结果的精确显得尤为重要。

阈值分割法是一种应用广泛的图像分割方法,它利用像素的灰度值,通过特定的准则选取最佳阈值进行图像分割。较为广泛使用的阈值算法有 P 分位数(P-tile)法、双峰法和最大类间方差法(Otsu

法,也称大津法,是日本学者 Otsu 提出的一种对图像进行二值化的高效算法)。P-tile 法抗噪性能好,但需要预知目标所占面积比;双峰法对于目标与背景反差较大的分割有较好的效果;Otsu 方法计算简单,在一定条件下不受图像对比度与亮度变化的影响,可应用于较多场合。但在舌像分割过程中,如果对图像灰度直接应用 Otsu 阈值法,得到的舌体将存在狭长突出区域且舌体边缘具有许多毛刺。近年来,有学者提出将 Otsu 算法与灰度投影法<sup>[7]</sup>、Snake 主动轮廓法<sup>[8]</sup>等算法相结合应用于舌像分割,但在算法性能上都存在很大的提升空间。使用数学形态学方法亦可解决此问题,它可以利用原始图像的形态通过图像和结构元素相互作用达到改善图像质量的效果,但在运算中需要人为确定结构元素大小,较为复杂。针对以上问题,本文研究了 Otsu 阈值分割算法与数学形态学算法,提出了一种基于 Otsu 阈值法与形态学自适应修正的舌像分割方法。

① 国家重点研发计划专项(2016YFF0101602,2016YFC0104104),国家重大科学仪器设备开发专项(2013YQ03065105)和上海交通大学“医工交叉研究基金”(YG2014MS12)资助项目。

② 男,1993 年生,硕士生;研究方向:医学图像处理;E-mail: jsmech@sjtu.edu.cn

③ 通讯作者,E-mail: hujie@sjtu.edu.cn  
(收稿日期:2016-12-07)

## 1 分割算法

本文提出的算法流程图如图 1 所示。该算法在原始舌像输入后,提取图像中 G、B、V 通道的信息,使用 Otsu 阈值法并综合相关先验知识分割舌像,并采用形态学开运算的方法进行修正,得到最终分割结果输出。

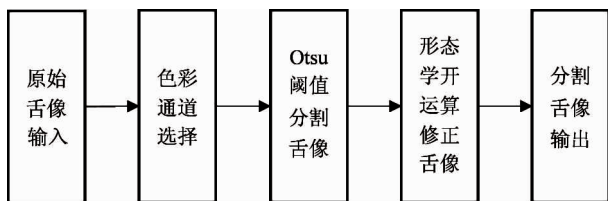


图 1 分割算法流程图

### 1.1 色彩通道的选择

从舌像采集设备获得的原始舌图像如图 2 所示。

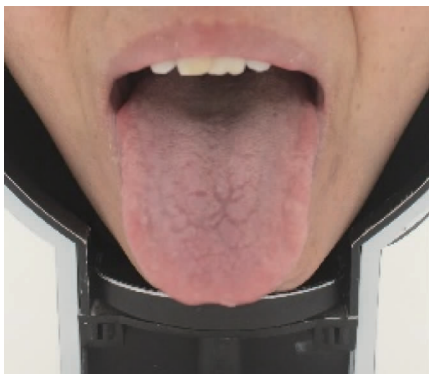


图 2 原始舌图像

色彩通道是舌体分割工作的基础,选择合适的色彩通道可以最大限度地利用舌像中的色彩信息。一般而言,图像的默认存储方式是 RGB 色彩空间,RGB 色彩度直方图形状相似,无法利用单一分量作为色彩通道进行舌体分割。经过长期实验,发现舌体区域对蓝色与绿色分量更为敏感,本文选择 HSV 色彩空间中的 V 通道记作  $C_v$ ,以及 RGB 色彩空间中 B 与 G 的混合通道作为舌像分割的色彩通道,混合色彩通道记作  $C_p$ ,表达式为

$$C_p = B - G \quad (1)$$

这样处理的好处是:利用  $C_p$  通道可以使舌体区域与

背景区域反差更大,图 3 所示是规范化后的  $C_p$  通道直方图,从直方图可以看出原图像的像素被明显地分为两个区域,即舌体区域与背景区域。而利用  $C_p$  通道可以使口腔内部阴影区域与背景暗色区域在后续的处理中滤去。

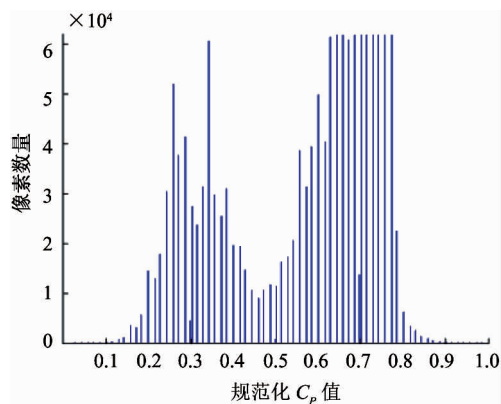


图 3 原始舌图像  $C_p$  通道直方图

### 1.2 基于一维 Otsu 阈值法的舌像分割

最大类间方差法 (Otsu 法) 通过计算图像目标区域与背景区域的最大类间方差值作为依据选择阈值进行图像二值化<sup>[9]</sup>。Otsu 是一种自动的非参数非监督的阈值选取法,计算简单、稳定有效,因此可以应用于舌像分割领域。一维 Otsu 算法流程图如图 4 所示。

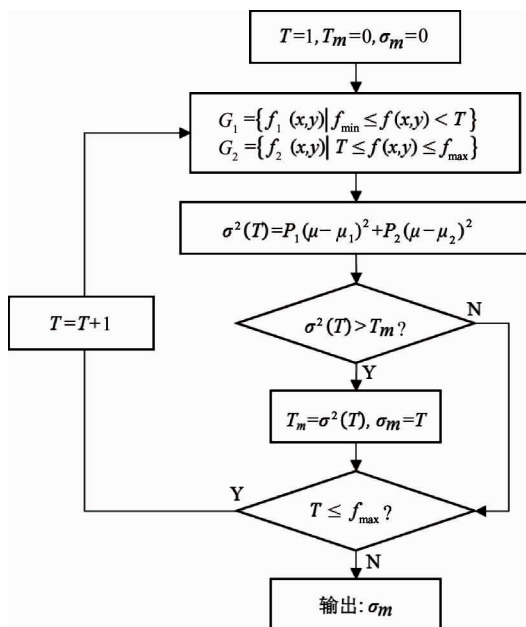


图 4 一维 Otsu 算法流程图

在舌像分割过程中,对  $C_p$  通道进行 Otsu 二值化可以提取出舌体的大致区域,对  $C_r$  通道进行 Otsu 二值化可以提取出口腔内部阴影区域与背景暗色区域以外的部分。将两部分二值化的结果作和运算,可以得到舌像初步分割的结果。

1.3 基于先验知识与形态学运算的舌像修正

1.3.1 基于先验知识的目标区域聚类

由于原始舌图像采集设备、采集环境以及被采集人个体差异的影响,原始舌像经初步分割后的结果,除了包含舌体区域外,还存在着一些与舌体不连通的非舌体区域。由于采集舌图像时的限制,包含舌体的目标区域面积应大于其余与舌体不连通的非目标区域,基于此先验知识,采用目标区域聚类的方法,将非目标区域去除,在聚类前需要先对初步分割后的舌像进行封闭孔洞的填补。聚类的具体步骤如下:

(1)在舌体二值图像中,对非目标区域(即像素点取值为 0 的区域)各像素点从上到下、从左到右按顺序进行扫描,在扫描的同时对像素点进行编号。当前扫描到的像素点的编号等于非目标区域中已被扫描的八邻域内像素点编号的最小值,若八邻域内像素点均不在非目标区域内,则当前像素点的编号为所有已存在编号的最大值加 1。

(2)根据步骤(1)对各像素点的编号结果,统计舌体二值图像中各编号像素的数量。基于先验知识,保留图像中像素数量最多的编号所表示的区域即可将目标区域提取出来,进而除去其余非目标区域。

1.3.2 基于形态学运算的舌像修正

形态学运算是依据数学形态学的集合论发展而来的图像处理方法,它可以通过二值化图像和结构元素相互作用的运算使得图像的质量得以改善,但形态学运算过程中需要给定结构元素的形状与大小。

利用形态学开运算的特点,对聚类后的舌图像使用开运算可以实现除去舌体连通的狭长部分以及平滑舌体边缘毛刺。本文运用基于圆结构的形态学开运算进行舌像修正,进一步提出一种利用舌体当量直径自适应选取结构元素的大小的方法。目标区域聚类后的舌体带有狭长的突出部分,这部分区域对其周长的影响较大,而对其面积的影响较小。为

了描述舌体包含不规则狭长突出部分的程度,以度量形态学修正的效果,定义舌体区域的面积与周长的比值为当量舌体直径:

$$D_t = \frac{A_t}{I_t} \tag{2}$$

式中,  $A_t$  是舌体区域面积,  $I_t$  是舌体区域周长。经形态学修正后的舌体由于去除了狭长的突出部分,  $D_t$  应较原舌体有所增大。确定结构元素的大小的具体方法如下:

(1)令待修正舌像为  $I$ ,初始化圆形结构元素直径  $D_c = 0$ ,先计算待修正舌像的舌体当量直径  $D_1$ ,结果存入  $D_1$ ;

(2)将  $D_c$  按指定步长  $D\_Step$  递增,使用直径为  $D_c$  的圆形结构元素对  $I$  作开运算得  $I'$ ;

(3)利用 1.3.1 节中的方法,对  $I'$  进行目标区域聚类得  $I''$ ,计算  $I''$  的周长与面积,周长即为轮廓像素数,面积即为区域总像素数,进一步计算舌体当量直径,结果存入  $D_2$ ;

(4)判断  $|1/D_2 - 1/D_1|$  是否小于  $T\_end$  ( $T\_end$  代表停止循环的极限值):若是,则选择  $D_c$  作为最终结构元素大小;若否,则令  $D_1 = D_2$ ,重复步骤(2)至(3)。

算法流程图如图 5 所示,本文中取  $D\_Step = 10$ ,  $T\_end = 0.0001$ 。

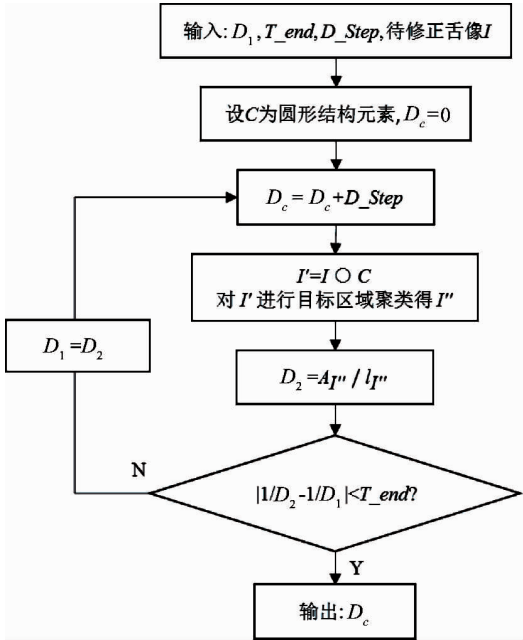


图 5 确定形态学修正结构元素的算法流程图

2 实验结果与分析

实验选用上海中医药大学舌图像数据库中的

200 幅舌图像进行实验,实验样本的组成如表 1 所示。由表 1 可知,这 200 幅舌图像是采集于不同年龄段志愿者的,包括了不同舌色及形态的舌体。

表 1 实验样本

| 特征 | 年龄(岁) |       |      | 舌色  |    |    | 舌形 |    |    |
|----|-------|-------|------|-----|----|----|----|----|----|
|    | 10-30 | 30-50 | 50以上 | 红   | 淡白 | 青紫 | 圆  | 扁平 | 细长 |
| 数量 | 89    | 80    | 31   | 137 | 47 | 16 | 97 | 64 | 39 |

每幅舌图像的分辨率为  $1500 \times 1300$ ,实验平台为 Matlab2012。从不同舌色舌形的样本中选择具有代表性的 3 幅舌体分割结果进行展示,如图 6 至图 8 所示,图 8(a) 是经手工标定舌体的原始舌图

像,图 8(b)是阈值分割后的二值化图像,图 8(c)是对图 8(b)进行形态学修正后的二值化图像,图 8(d)是最终分割舌体与手工标定结果叠加后的图像。

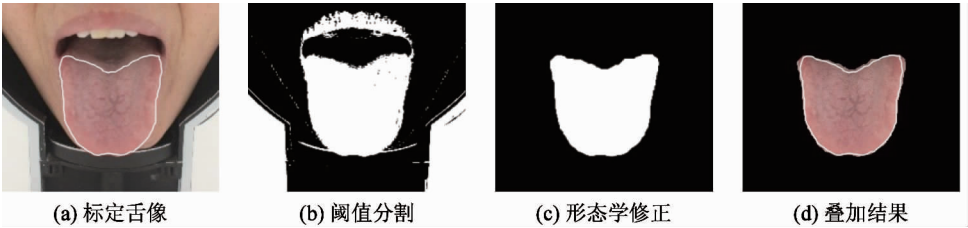


图 6 淡白扁平舌样本实验结果

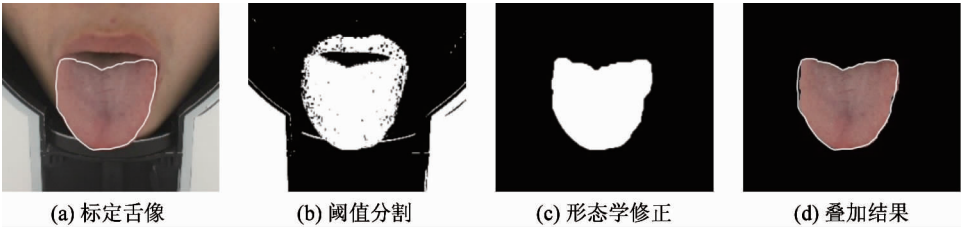


图 7 红圆舌样本实验结果

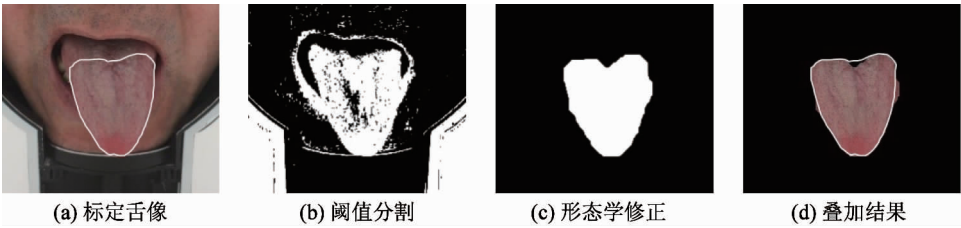


图 8 青紫细长舌样本实验结果

实验中用于评估分割算法性能的指标有: Hausdorff 距离 (Hausdorff distance, HD), 平均最近点距离 (mean distance to the closest point, MDCP), 假正

像素比例 (false negative volume fraction, FN) 和真正像素比例 (true positive volume fraction, TP)。

定义点集  $A = \{a_1, \dots, a_m\}$ , 点集  $B = \{b_1, \dots,$

$b_n\}$ ,  $A$  表示使用本文算法分割舌像得到的舌体边缘点组成的点集,  $B$  表示手工标定的舌体边缘点组成的点集, 即认为  $B$  表示舌体的理想边缘点集。

(1) Hausdorff 距离 (HD) 定义为

$$HD(A,B) = \max[h(A,B), h(B,A)] \tag{3}$$

式中,  $h(A,B) = \max_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\|$ ,  $h(B,A) = \max_{b \in B} \min_{a \in A} \|b - a\|$ .

(2) 平均最近点距离 (MDCP) 定义为

$$MDCP(A,B) = \frac{1}{m+n}(\sum_i \min_{b \in B}(a_i - b) + \sum_j \min_{a \in A}(a_i - b)) \tag{4}$$

(3) 算法错误判断的像素比例

$$FN = \frac{|A_a - A_a \cap A_b|}{A_a} \tag{5}$$

(4) 算法正确判断的像素比例

$$TP = \frac{|A_a \cap A_b|}{A_a} \tag{6}$$

式(5)、(6)中,  $A_a$  表示点集  $A$  所包含的舌体区域像素的集合,  $A_b$  表示点集  $B$  所包含的舌体区域像素的集合。

HD 和 MDCP 用来描述使用该算法得到的舌像分割结果的边缘点集与理想舌体边缘点集之间的近似性, HD 和 MDCP 的数值越小代表算法的分割结果与理想结果的轮廓越匹配。TP 和 FN 用来描述使用该算法得到的舌像分割结果与理想舌体的差异, TP 数值越大、FN 数值越小, 代表分割结果与理想结果的差异越小, 分割的准确率越高。将本文的方法与传统 Otsu 方法及文献[7]方法(灰度投影-Otsu 方法)进行对比, 实验结果如表 2 所示。

表 2 算法性能对比

| 方法      | HD    | MDCP  | FN<br>(%) | TP<br>(%) | 运行时间<br>(s) |
|---------|-------|-------|-----------|-----------|-------------|
| 传统 Otsu | 49.39 | 17.68 | 23.6      | 76.4      | 1.764       |
| 文献[7]方法 | 24.76 | 7.61  | 12.6      | 87.4      | 1.859       |
| 本文方法    | 9.79  | 4.75  | 3.9       | 96.1      | 2.833       |

从表 2 可以看出, 在相同的实验环境下, 使用本文提出的算法分割舌体时, 其 HD 与 MDCP 相对于传统 Otsu 方法与文献[7]方法低, 这说明本方法对

— 154 —

于分割结果轮廓的精确性较传统 Otsu 方法与文献[7]方法有所提升; 而 TP 指标也较传统 Otsu 方法与文献[7]方法有所增加(FN 指标降低), 说明本文方法整体分割正确率较 Otsu 方法与文献[7]方法有了很大程度的提高。本文方法对于 200 幅包含不同舌色类别、形状类别的原始舌像的平均分割准确率达到了 96.1%, 说明了本文方法具有较强的鲁棒性。虽然从运行时间来看, 形态学修正步骤的增加使得本文方法运行时间相对更长, 但其获得了更好的准确率和鲁棒性。即在基本保证运行效率的情况下, 该方法可以较大地提升舌像分割的精度。

3 结 论

舌诊是中国传统医学四诊中望诊的主要项目之一, 其中舌体分割对于舌诊客观化具有重要意义。本文提出了一种基于 Otsu 阈值法与形态学自适应修正的舌像分割算法, 实现了舌像的自动分割。该方法在蓝、绿混合通道及亮度通道采用 Otsu 阈值法分割舌像并对分割结果进行融合, 随后基于舌体图像特征的先验知识, 采用形态学自适应修正提升分割结果的准确性。本文对 200 幅包含不同舌色类别、形状类别的原始舌像进行实验, 并以 HD、MDCP、FN、TP 作为评价指标, 将本文方法得到的分割结果与传统 Otsu 方法及灰度投影-Otsu 方法进行比较, 结果表明本文方法正确率高、鲁棒性强, 是一种有效的舌像分割方法, 应用该方法分割出的舌像可以为后续量化舌体特征进行计算机辅助诊断打下基础。

但是, 该方法在形态学修正步骤中使用开启运算次数较多, 导致总体耗时较长, 这使得舌体分割的效率有所降低。进一步优化形态学修正步骤的算法, 提升舌体分割的效率是将来需要进一步研究的内容。

参考文献

[1] Shi M J, Li G Z, Li F F, et al. Computerized tongue image segmentation via the double geo-vector flow. *Chinese medicine*, 2014, 9(1): 1-10

[2] Ibragimov B, Prince J L, Murano E Z, et al. Segmentation

- of tongue muscles from super-resolution magnetic resonance images. *Medical image analysis*, 2015, 20(1): 198-207
- [3] Zhang L, Qin J, Zeng Y J. Tongue-coating image segmentation based on combination of morphological gradient and watershed algorithms. *Imaging Science journal*, 2015, 59(6): 311-316
- [4] Wu K B, Zhang D. Robust tongue segmentation by fusing region-based and edge-based approaches. *Expert system with applications*, 2015, 42(21): 8027-8038
- [5] Saritha B, Kannan B. Disease analysis using tongue image. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2013, 2(4): 671-676
- [6] Ning J F, Zhang D, Wu C K, et al. Automatic tongue image segmentation based on gradient vector flow and region merging. *Neural computing & applications*, 2012, 21(8): 1819-1826
- [7] 张灵, 秦鉴. 基于灰度投影和阈值自动选取的舌像分割方法. *中国组织工程研究与临床康复*, 2010, 14(9): 1638-1641
- [8] 张志顺, 刘勇. 基于动态阈值和修正模型的舌体提取算法. *计算机与现代化*, 2014, 11: 49-52
- [9] Otsu. A threshold selection method from gray2level histogram. *IEEE Transaction on SMC-9*, 1979, 9(3): 62-66

## A tongue image separation method based on Otsu threshold method and morphological adaptive correction

Jiang Shuo<sup>\*</sup>, Hu Jie<sup>\*</sup>, Xia Chunming<sup>\*\*</sup>, Qi Jin<sup>\*</sup>, Peng Yinghong<sup>\*</sup>

(<sup>\*</sup> School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240)

(<sup>\*\*</sup> School of Mechanical Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237)

### Abstract

To accurately separate the tongue body from original tongue images to realize the characterization of tongue diagnosis in traditional Chinese medicine, a new tongue image separation method based on the Otsu threshold method and morphology adaptive correction is put forward. The method extracts the information of the channels of G, B and V in the RGB color space and the HSV color space of original tongue images, performs binarization for tongue images with the Otsu threshold method, clusters target areas based on priori knowledge, self-adaptively selects the size of structure elements with the tongue body equivalent diameter and the morphological algorithm, and gives the clustering operation correction to obtain the tongue image separation results. The results of the experiments on 200 original tongue images with different forms and different tongue color categories show that this method can separate the tongue body stably and accurately, with greater improvements in accuracy compared with the traditional Otsu method and the gray projection-Otsu method.

**Key words:** image processing, characterization of tongue diagnosis, tongue image separation, Otsu threshold method, morphological operation