

# 一种基于分裂-合并方法的中医舌像 区域分割算法及其实现

孙 扬 罗 瑜 周昌乐 许家佗 张志枫

(浙江大学人工智能研究所, 杭州 310027)

(上海中医药大学基础医学院, 上海 200032)

**摘 要** 舌像的区域分割是实现计算机中医舌诊自动化系统的一项前期工作, 只有实现了良好的区域分割, 后续工作的开展才能得以保证. 为此提出了一种改进的分裂-合并算法对舌像进行区域分割, 和其他几种分割算法的处理效果进行了分析比较, 其结果表明, 该算法在均匀一致性的判别条件, 算法速度和处理效果等方面都显示出了其优势, 传统方法的时间复杂度为  $O(n(n+1)/2)$ , 而该算法的时间复杂度为  $O(n)$ , 该算法在舌像分割方面具有普遍的适应性和实用性, 实验结果令人满意.

**关键词** 医学影像学(320·1140) 图象分割 分裂-合并算法 中医舌诊

**中图法分类号:** TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2003)12-1395-05

## A Method Based on Split-Combining Algorithm for the Segmentation of the Image of Tongue

SUN Yang, LUO Yu, ZHOU Chang-le

(Institute of Artificial Intelligence of University, Zhejiang 310027)

XU Jia-tuo, ZHANG Zhi-feng

(The Base of Herbescent College of Shanghai, Shanghai 200032)

**Abstract** The segmentation of the image of tongue is a prophase work to establish a system of automatic diagnosis by tongue features in Traditional Chinese Medicine (TCM). Only when favourable results of the segmentation of the image of tongue can be achieved, the next stage will be able to proceed effectively. Considering the causes above, the significance of the segmentation of the image of tongue is obvious. This paper presents here several methods for the segmentation of the image, especially for Split-Combining Algorithm. Then a new Mended-Split-Combining Algorithm is proposed, which is based on the traditional Split-Combining Algorithm. This new method proposed in this paper has its own advantages in several aspects, such as the standard of consistency, the algorithm speed (the new method's Time Complication Degree is  $O(n)$ , while the traditional methods' are  $O(n(n+1)/2)$ ) and the experiment results that the intuitionistic results can be seen. What's more, in this paper, some comparisons have been made between this new method and all those other traditional methods. From the comparison, it can clearly be found that the Mended-Split-Combining Algorithm is better than any other algorithms. At last, this paper also discusses the deficiencies that still exist and offers some suggestions. On the whole, Experimental results are satisfactory.

**Keywords** Medical image, Image segmentation, Split-combining algorithm, Automatic diagnosis by tongue feature in traditional chinese medicine (TCM)

## 0 引 言

中医舌诊是中医临床辨症的主要内容之一, 为

历代中医学者所重视. 但是, 仅仅依靠医生用肉眼观察舌, 其诊断结果在很大程度上取决于医生的主观意识和经验, 缺乏客观标准, 无法达到医学研究上的可重复性要求, 因此为了实现舌诊的客观化、量化及

基金项目: 上海市教委研究基金项目(02CK22)

收稿日期: 2002-11-11; 改回日期: 2003-06-03

标准化, 中医舌诊的电脑化研究已经成为一大发展趋势<sup>[1]</sup>.

近十年来, 国内很多单位尝试了对中医舌诊识别系统的开发, 取得了不少成果. 其中主要有①中医舌诊自动识别系统(国家自然科学基金资助项目, 1993)②电脑化中医舌诊系统(台湾)③TID-2000 中医舌诊专家系统(北京普力生科贸集团). 另外, 香港理工大学与哈尔滨工业大学合作开展的中医诊断自动舌象分析与研究计划取得进展, 专家已在计算机中建立了有 5000 多个病例的舌象库<sup>[2]</sup>. 目前, 这一诊断系统已经基本能够根据舌象来判断就诊人的健康状况; 准确诊断胰腺炎, 较好地诊断阑尾炎, 并能判断疾病特征.

计算机舌诊系统集成了计算机技术、图象处理技术以及医学图象分析方法. 它的工作原理是在标准化的采集环境下得到目标舌图象并传送到计算机, 实行彩色校正、舌体分割、舌像特征自动判别, 并与标准的舌像库进行比较分析, 然后做出结论, 从而实现舌诊的自动化过程.

对舌像进行区域分割属于“中医舌诊自动化系统”的一部分(图 1), 它为舌像的颜色识别和纹理分析等后序工作打下了很好的基础.



图 1 中医舌诊自动化系统基本工作流程

## 1 舌像区域分割的基本原理

### 1.1 概述

计算视觉的一个重要步骤是要通过参数化描述来刻画构成图象的几何组块<sup>[3]</sup>. 因为一点一点的景物描述太复杂, 而且相对于大多数视觉目的而言也没有意义. 为了产生一个有效的描述, 必须把这些点有效地组织起来, 而图象区域分割正是将图象划分为有意义的或相关的各个组块.

一般图象都包含为数不多的区域类. 同一区域类的像元具有相近或相似的属性, 它们聚集在属性空间的一个子域内, 不同区域类的像元应当分属于不同的子域. 图象分割的实质就是要正确划分属性空间, 使得具有相同属性的像元归属到同一子域, 不

同属性的像元归属到不同的子域.

图象中目标的形状可以用目标的边界或者目标所覆盖的区域两种方式表达<sup>[4]</sup>. 使用边缘检测和边缘跟踪技术, 能够实现目标形状的边界表达; 而用目标覆盖的区域表达形状, 则需要把图象分割成几个具有某种均匀一致性的区域. 可见, 图象分割和边缘检测一样, 也是一种图象分析的手段. 在实际图象中往往存在一些具有某种均匀一致性的区域, 如颜色、纹理等. 这种一致性构成的特征向量可用于区分图象的不同区域. 图象分割就是利用这些特征向量来检验区域的一致性, 从而达到将图象分割成不同区域的目的.

区域分割技术可以分为 3 类: 一是局部技术, 主要是基于像素及其邻域的局部特征进行分割; 二是全局技术, 以全局信息(如直方图等), 作为图象分割的依据; 三是分裂、合并和区域增长技术, 主要的依据是区域的一致性和几何临近度.

舌像的区域分割是建立在舌像颜色特征的基础上, 以舌面不同区域颜色为划分依据, 将舌像分成不同区域的识别方法. 舌分为舌质和舌苔, 在颜色信息上, 舌质主要以红色为主色调, 其范围在淡白、淡红、红、红绛到淡紫; 而舌苔主要表现为白、黄、灰和黑 4 种色调. 因此在颜色表现上, 基本可以说舌质和舌苔没有色度的重合, 舌像的这一颜色特性为判断区分舌面的不同区域提供了重要依据, 另外也为分裂-合并算法提供了一个很好的一致性判决条件. 在算法的选择上, 如果用第 1 类方法, 不能很好地从全局上把握整个舌像的区域特征, 而第 2 类方法需要直方图中有明显的双峰或多峰出现, 但在舌像的直方图中并不一定有这样的峰谷出现, 所以选择采用第 3 类方法.

### 1.2 分裂-合并算法

分裂-合并算法是图象分割中一种比较成熟的算法<sup>[5]</sup>, 它由分裂和合并两种算法组合而成, 并能取得较好的分割效果.

单纯的区域分裂算法存在一个大的缺陷, 即分裂得到的区域  $A_i$  和  $A_j$  可能是相邻区域并有一致性, 即  $(\forall k) H(A_k) = \text{true}$ . 理论上讲, 这两个区域是应该合并为一个区域的. 由于这种原因, 后来提出了一种分裂-合并算法, 在这种方法中, 如果对于某个  $k$  值,  $A_k$  不满足谓词  $H()$ , 则意味着该区域不是均匀的, 因此应当分裂成子区域; 同样, 如果对于区域  $A_i$  和  $A_j$  使  $A_i \cup A_j$  满足了谓词  $H()$ , 则说明区域  $A_i$

和  $A_j$  是具有均匀一致性的,所以应当合并成一个区域.具体算法如下:

(1)选取一种组织区域的聚类结构(这里采用四邻点连接法)及均匀性谓词  $H()$ .如果该结构中任一区域  $A$  满足  $H(A)=\text{false}$ ,则将该区域分裂成 4 个子区域.如果任意 4 个相邻的区域  $A_{k,1}, A_{k,2}, A_{k,3}, A_{k,4}$  有  $H(A_{k,1} \cup A_{k,2} \cup A_{k,3} \cup A_{k,4})=\text{true}$ ,则将它们合并成一个区域,当没有区域可以再分裂或合并时,则停止;

(2)如果相邻区域  $A_i$  和  $A_j$ (可能大小不同),满足  $H(A_i \cup A_j)=\text{true}$ ,则将这两个区域合并.

分裂-合并算法优于自上而下的纯分裂和自下而上的纯合并两种方法,使之在学术和实际应用中都具有一定的价值,具体表现为

(1)该算法没有规定必须采用什么作为一致性测量的标准,而是提供了一种模块化结构,允许将任何可能的一致性测量引入到分割过程中,用该算法,通过具体定义或扩展一致性判别方法,可以成功地对多个复杂图象进行合适地分割.

(2)算法是基于区域的,它允许采用类似纹理、空间或是几何结构等种种特征量.

(3)算法采用了二叉树或金字塔型结构,方便循环与模块化工作,也方便提供区域边界.

(4)在缺少景物具体知识的情况下,它能够提供更有效地分裂和合并区域,往往还需要借助一些辅助信息,比如利用边缘信息和语义信息等.

## 2 舌像区域分割的分裂-合并算法的实现

在图象分割的几种典型算法<sup>[3-7]</sup>中,有大家熟悉的均匀谓词算法、阈值法、纯分裂算法、纯合并算法和分裂-合并算法.由于分裂-合并算法独特的优点,在舌像区域分割中,基于此算法作了一些改进.

### 2.1 区域一致性条件的确定

区域一致性条件<sup>[3]</sup>是图象区域分割中的一个重要因素,该条件直接影响到图象区域分割效果的好坏.根据像素的属性描述,可采用如下像素间的相似性度量:

$$R_1(x_1, y_1, x_2, y_2) = \sum_{i=1}^n |\omega_i(x_1, y_1) - \omega_i(x_2, y_2)|$$

及

$$R_2(x_1, y_1, x_2, y_2) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\omega_i(x_1, y_1) - \omega_i(x_2, y_2))^2}$$

其中,  $\omega_i$  为相似性判别函数,但在实际设计中,如果一幅图象中所有任意的两个像素之间,都进行两次这样的相似性度量计算的话,所需要的计算量是很大的.为了解决这个问题,改用平均灰度的均匀测度度量,即对于 RGB 的每一像素,都转化成单一的灰度值处理.

对于某一图象区域  $R$ ,其中像素数为  $N$ ,则区域灰度均值表示为

$$m = \frac{1}{N} \sum_{x \in R} f(x) \tag{1}$$

于是,区域  $R$  的均匀测度度量可写为

$$\max_{x \in R} |f(x) - m| < T \tag{2}$$

式中,  $f(x)$  为  $x$  的灰度值,  $T$  为一阈值.

式(2)解释为,在区域  $R$  中,各像素灰度值与均值的差不超过某阈值  $T$ ,则其均匀测度度量为真.下面,从两个方面来考察式(2)作为均匀测度度量的可靠性.

(1)假定区域  $R$  确实表示某一种物体(即  $R$  可看作均匀区域),各像素灰度值为均值  $m$  与一零均值高斯噪声的叠加.该噪声的分布为

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

其中,  $\sigma$  为噪声的标准差,该噪声对像素的影响均等,不受位置影响.这样,若用式(2)测试某一像素,则该像素使式(2)为假的概率应为

$$P(T) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_T^\infty e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx \tag{3}$$

这是大家熟悉的误差函数  $erf(t)$ ,当  $T$  取 1, 2, 3, 4 倍方差时,  $erf$  的取值分别是 0.317, 0.046, 0.003, 0.0001.也就是说,若  $T$  取 3 倍方差,式(3)对某一像素的误判概率为 0.3%,正确的判决概率为 99.7%.因为该区域共有  $N$  个像素,故总体正确判决概率为  $(99.7\%)^N$ ,误判的概率为  $1 - (99.7\%)^N$ .

(2)非均匀区域,设区域  $R$  由两种物体组成(即  $R$  为非均匀区域),其值分别为  $m_1$  和  $m_2$ .它们在  $R$  中所占的比例分别为  $q_1$  和  $q_2$ .则区域  $R$  的均值为  $q_1 m_1 + q_2 m_2$ .考察一灰度为  $m_1$  的像素,它与均值的偏差为

$$S_m = m_1 - (q_1 m_1 + q_2 m_2)$$

使式(2)为假,也就是正确判断的概率为

$$P_m = \frac{1}{2} [P(|T - S_m|) + P(|T + S_m|)] \quad (4)$$

同样,可以定义整个区域上的正确判断和误判的概率.由式(4)可知,要使得正确判断概率增加, $S_m$ 必须足够大,大到接近 $T$ ,这时 $|T - S_m|$ 接近零.由误差函数定义, $P(|T - S_m|)$ 也接近1.

综上所述,该测度度量可以用来作为判断一致性的条件.在使用平均灰度值作为均匀测度度量时,单一物体的灰度变化方差越小,各物体之间的灰度均值差别越大,分割的效果就越好,而舌像独有的颜色特征正好满足这一要求.区域一致性条件的确定也为算法速度的改进提供了依据.

## 2.2 对均匀性区域分割算法速度的改进

在均匀性区域分割算法中,取当前遍历元素 $(x, y)$ ,对所有的区域 $k$ ,将 $(x, y)$ 与区域 $k$ 中已知的元素进行比较测试,以判断当前元素是否符合均匀性要求,这一步需要将当前元素和其前以及处理过的元素都进行一次均匀谓词的运算,其时间复杂度是 $O(n(n+1)/2)$ .由于一张图片中所包含的像素很多(如本程序中要求能处理 $1280 \times 960$ 分辨率的图片,其 $n=1280 \times 960$ ),所以其所需的运算量很大,运算时间会很长.

鉴于此,对此算法做如下改进:由于只对颜色进行区域划分,因此对每一个区域 $k$ 设置一个RGB颜色类型的变量 $C_k$ ,用于保存当前已归入该区域的所有像素RGB颜色的平均值,对于当前遍历元素 $(x, y)$ ,将其与 $C_k$ 进行均匀谓词计算,判断其是否归入区域 $k$ .这样只需对所有的元素进行一次遍历,就可以实现图象的区域分割,其时间复杂度为 $O(n)$ ,处理速度显著加快.其算法具体如下:

(1) 令 $k=1, A_1 = \{a_1\}, C_1 = a_1$ 的RGB颜色, $a_1 \in A$ 为任选的一个元素,通常可取 $(0, 0)$ 元素;

(2) 对 $A$ 中所有元素进行遍历;

① 取当前遍历元素 $(x, y)$ ;

② 对所有的 $k$ 进行测试,如果存在 $i$ 使

$$H(C_i \cup \{(x, y)\}) = \text{true}$$

则令

$$A_i = A_i \cup \{(x, y)\}$$

$C_i = A_i$ 中现有元素RGB颜色的平均值,否则,令 $k=k+1, A_k = \{(x, y)\}, C_k =$ 元素 $(x, y)$ 的RGB颜色;

(3) 遍历结束得 $A_i, i=1, 2, \dots, k$ ;

(4) 对每个 $A_i$ 用 $C_i$ 的颜色值进行团点着色,得

$A_{ij}, j=1, 2, \dots, n_i (n_i$ 为 $A_i$ 区域中可以分割的子区域数);

(5) 最终得 $A_{ij}, i=1, 2, \dots, k; j=1, 2, \dots, n_i$ 即为所要生成的 $n = \sum_{i=1}^k n_i$ 个区域.

经过如此改进后的算法也会受到一些因素的影响,由于使用已包含元素的颜色平均值作为一致性判别的依据,因此对于每一个划分区域来说,最初被包含进去的元素对该区域的划分影响较大,可能会在一定程度上影响区域划分的精确性.但由于人的肉眼对于一副图片的观察是从整体上把握的,因此个别像素的划分不精确并不会对整体的区域划分造成太大影响.经过实验表明,改进前后的算法对于图象区域划分的效果几乎是一样的,但改进后算法的运算速度则大为改观.

## 3 算法实现及其实验结果分析

标准的分裂-合并算法一般是基于图象的四叉树操作,图象由分裂算法产生出四叉树结构,然后通过合并算法根据四叉树进行合并处理<sup>[3~7]</sup>,而在这里,图象在经分裂算法处理后,直接采用上述改进过的均匀性区域分割算法进行合并处理,效果令人满意.

在标准环境下由数码相机拍摄,并输入计算机,经过边缘提取等一系列预处理操作而得到舌像图片.整个过程都是在Visual C++ 6.0的环境下编程实现<sup>[8]</sup>,图象的素材来自上海中医药大学舌像图库中的典型图片.图片大小不限,需转换成bmp图片格式.

为了对处理效果进行比较,在程序设计中,简单阈值法、分裂算法、合并算法和分裂-合并算法都可单独实现处理.经实验结果表明:对于具有明显舌苔范围的舌像,相对于简单阈值法、纯分裂和纯合并的算法来说,分裂-合并算法的区域划分效果是最好的(如图版1图1所示).

与阈值法相比,分裂-合并算法能够更好地把颜色同一性与空间位置联系在一起,它不一定要要求图象的直方图必须有双峰或多峰特性.另外简单阈值法是对RGB颜色分量分别取阈值来分割,这样重新将3种颜色合并后的图片可能会产生更多的区域,而且其合并的颜色可能会与原图大相径庭,从处理效果就可以看出分裂-合并算法更好一些.与纯合并算法相比,分裂-合并算法在很大程度上消除了纯

合并算法处理结果中存在的许多小块区域和个别的像素,使划分更加具有区域性,而且,它不会像纯合并算法那样丢失一些小区域和区域边界,并且最终区域数目少,图象光滑性更好。

该算法同时也存在一些不足,如阈值选择具有一定程度的不确定性。如前所述,该舌像区域分割算法的依据是舌色,而对舌色的中医量化研究表明舌面上同一块区域的颜色灰度差值一般不会超过30,而不同区域灰度差值都远大于30,因此分裂算法中采用对RGB单色色差(即阈值)在20~30像素点进行融和,之所以选择大于20,是因为这样可以很好地消除许多小块区域和个别像素,使得处理后更具有区域效果;在接着的合并算法中,阈值取在10~20之间比较好,因为经过大量舌像图片分析发现,这时可合并的相邻区域的灰度差值基本都在这个范围内,选此范围的阈值可使得邻近的区域合并而又不失其原本的色彩。虽然阈值目前还无法定为某一个确定值,但是由于舌像颜色的特殊性,可以将阈值限制在一个很小的范围内,而在这个范围内的任意取值都能得到基本一致的实验效果。以后如能采用适合于舌像的自适应阈值算法来代替现在采用的阈值范围的算法,将使得舌像的分割工作更具有智能化。

## 4 结 论

尽管由于人的个体差异,其舌的形状、颜色及其他生理特征会有所不同,但是改进的分裂-合并算法对于这些舌像的区域分割具有普遍的适应性,基本都能达到较好的分割效果,这将使得此算法在将来的临床试验中更加实用。将来的研究方向除了尽量解决此算法还存在的不足之处以外,需要解决的另一个难点就是如何把舌像从人脸图象中提取出来,目前是采用人工方法将舌像单独提取出来,并没有实现由计算机自动识别提取舌像。研究证明,计算机图象分析与中医舌诊结合,对于中医诊断缺乏量化的薄弱环节是个有利的补充。随着计算机信息技术的发展,有效地利用这一技术手段并逐步改进和完善,将成为舌象计算机识别研究的主要方向<sup>[9]</sup>。

## 参 考 文 献

- 1 余兴龙,谭耀麟,竺子民等. 中医舌诊自动识别方法的研究[J]. 中国生物医学工程学, 1999, 6(1): 23~26.
- 2 蒋依吾,陈建仲,张恒鸿等. 电脑化中医舌诊系统[J]. 中国中西医

结合杂志, 2000, 20(2): 56~60.

- 3 周昌乐. 视觉计算原理[M]. 杭州: 杭州大学出版社, 1996.
- 4 崔屹. 数字图象处理技术与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 1998.
- 5 Friedrich M. Wah[德]. 数字图象信号处理[M]. 上海: 上海远东出版社, 1999.
- 6 王润生. 图象理解[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1999.
- 7 吴健康. 数字图象分析[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2000.
- 8 何斌, 马天予. Visual C++ 数字图象处理[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2001.
- 9 王怡, 陈辉. 中医舌诊研究进展与展望[J]. 实用中西医结合杂志, 1998, 11(1): 13~14.



孙 扬 1979年生, 2001年获浙江大学学士学位, 现为浙江大学计算机系硕士研究生。研究方向为人工智能、计算机视觉及多媒体技术。

罗 瑜 1979年生, 2001年获浙江大学学士学位, 现为浙江大学计算机系硕士研究生。研究方向为数字图象处理、模式识别。



周昌乐 1959年生, 1990年获北京大学计算机博士学位, 现任浙江大学人工智能研究所副所长, 教授, 博士生导师, 厦门大学软件学院院长。主要从事人工智能、计算语言学、认知逻辑和多媒体技术的研究。



许家伦 1972年生, 2002年获得上海中医药大学医学博士学位, 目前为上海中医药大学和复旦大学计算机系联合培养博士后。主要从事中医四诊客观化研究以及中医舌诊自动化系统。



张志枫 1959年生, 上海中医药大学教授, 医学博士生导师, 1999年于上海中医药大学获博士学位。主要从事中医四诊客观化研究。