

基于 GVF Snake 模型的舌体轮廓实时自动提取

丁明全, 韦玉科, 倪 豪
(广东工业大学, 广东 广州 510090)

摘 要:正确快速分割舌体轮廓是中医舌诊实时系统的重要前提。针对 Snake 算法中初始轮廓设置复杂, 以及 Snake 模型因力场迭代次数过多而造成运行时间过长的问题, 提出了一种新的舌体轮廓提取方法。该方法首先利用舌体的 RGB 值的特性, 提取出增强的舌体区域的大致轮廓, 然后计算出增强的舌体区域的梯度矢量流场, 最后根据该 GVF 力场的分布规律, 自动寻找并获取到非常贴近初始轮廓的 Snake 轮廓线。实验表明, 使用该方法, 舌体轮廓分割能在 2 秒钟内完成, 满足了中医舌诊系统的实时性。

关键词:Snake 模型; Snake 算法; 梯度矢量流; 增强轮廓线; GVF 力场

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2010)10-0050-04

Real-Time Automatic Extraction of Tongue Contours Based on GVF Snake Model

DING Ming-quan, WEI Yu-ke, NI Hao
(Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

Abstract: Fast segmentation of tongue contours is an important prerequisite for traditional Chinese medicine tongue real-time diagnostic systems. Aiming at the complexity of setting initial contour, and long-running which is caused by excessive force field iterations in the snake algorithm, a new method of the tongue contour segmentation is proposed. This method starts from the specificity of the tongue's RGB value, and extracts out the broad contours of the enhanced tongue's regional, then, calculates the gradient vector flow force field. Finally, according to the distribution of the GVF force field, finds and obtains the snake contours automatically which is very close to the initial contour. Experiment shows that, in this method, the tongue contour segmentation can be completed in 2 seconds, and satisfies the real-time of the tongue diagnosis system.

Key words: Snake model; Snake algorithm; gradient vector flow; enhanced contour; GVF force field

0 引 言

目前许多学者对舌体轮廓提取问题进行了研究, 并取得了优秀成果。其中舌体 RGB 值特殊性的发现以及 GVF Snake 模型理论的应用, 使得舌体轮廓提取取得较好的效果。传统 GVF Snake 模型无法正确提取出轮廓线的原因, 是初始轮廓线没有落在“有效逼近阈”内。为了增加初始轮廓线的捕获范围, 必须加大迭代次数、扩大 GVF 力场^[1]。然而, 为了扩大外部力场捕获范围, 必须在整个图像域内迭代计算梯度矢量流, 也导致算法效率低, 对分辨率大的图像尤为明显。初始轮廓线越远离目标轮廓线, 其轮廓线逼近拟合次数

也越大, 时间开销也显著增大。文中则采用了在“有效逼近阈”范围内选取 16 点作为轮廓的办法, 减少了迭代次数, 使时间开销大为较小, 并且提取效果也得到了保证。

1 舌像预处理

在通过数码相机采集到的舌像中, 由于很多因素, 存在着许多噪声, 如光量子传输时因光量子密度随时间和空间变化所形成的光量子噪声、电器的机械运动产生的噪声以及数字化过程中的量化噪声^[2], 还有由于被检测人的情况各不相同而带来的差别^[3]。噪声严重影响了图像质量, 给舌体分割带来严重影响, 所以应该在进行分割之前, 进行图像质量的校正, 即滤波处理^[4]。最常见的滤波是中值滤波, 它是一种非线性平滑技术, 它将每一像素点的灰度值设置为该点某邻域窗口内的所有像素点灰度值的中值。在图像处理中,

收稿日期: 2010-01-14; 修回日期: 2010-04-22

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAI08B01-03)

作者简介: 丁明全(1985-), 男, 湖北安陆人, 硕士研究生, 研究方向为图形图像处理; 韦玉科, 副教授, 博士, 研究方向为图形图像处理、计算机软件开发、智能控制与检测。

中值滤波法常用于保护边缘信息,是经典的平滑噪声的方法。故中值滤波法适合用于舌体轮廓提取的预处理,既使图像噪声得以消减,又保护了舌体边缘信息。

2 舌体区域的增强及轮廓第一初始点确定

2.1 舌体区域的增强

一般来说,舌头颜色较脸部皮肤红润。文献[5]中提出,舌图像的 RGB 色彩分量中,导致舌体边缘和周围皮肤颜色差异的关键在于 G 分量,皮肤上的 G 值大于舌体边缘的 G 值。而且在舌体边缘上的 G 值和 B 值差不多或较大,而在皮肤上的 G 值均大于 B 值。另外,舌体和皮肤的 R 值均大于 G 值和 B 值。根据这些彩色分量值彼此之间的相对独立特性,可以导出舌体轮廓的增强函数:

$$I(x, y) = \frac{R(x, y) - G(x, y)}{|G(x, y) - B(x, y)| + 1}$$

增强后得到目标轮廓线(如图 1 所示)。然后将增强部分即目标轮廓线保留,并且做膨胀处理,加粗轮廓线条,方便后续处理。

2.2 轮廓第一初始点的确定

鉴于舌体形状有一定的规则,16 个点可以将舌体轮廓勾勒出。为了减少计算时间,设置 16 个初始点,左右两边各 8 个。从图 1 可以看出,在舌根部明显比舌体其他部分暗。而舌诊信息不包括舌根部。所以可以将暗区作为舌体轮廓上界。具体做法为,求取图像每一行像素值之和,其中像素值之和最小的那一行,即为舌体的上边界。为了减小图像边界对轮廓的影响,将上边界的左右分别去掉几个像素。如图 2 所示。在实验中,Snake 初始轮廓是逆时针顺序的,所以将舌体上边界右边第一个像素设置为 Snake 初始轮廓的第一个点。相应的同行左侧设置最后一个轮廓点。下一节介绍如何逆时针寻找剩余的 14 个轮廓点。

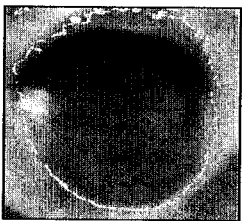


图 1 增强轮廓后图

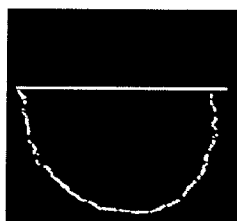


图 2 舌体上边界图

3 GVF Snake 模型

3.1 GVF 算法

针对 Snake 模型搜索范围有限、收敛不佳以及对初始轮廓位置极其敏感的问题,很多研究者提出了很多不同的方法,诸如距离势能法^[6]、高斯势能力方

法^[7]、模拟气球施压法^[8]等等,其基本原理都是寻求扩大外部力场范围的方法,从而拓宽初始轮廓线的的设置范围,以引导 Snake 拟合所期望的轮廓。Xu 和 Prince^[9]提出了一种新的驱动外力,它是一种静态图像的作用力,不随时间变化而变化,也不依赖初始轮廓的位置,称之为梯度矢量流(Gradient Vector Flow, GVF)。GVF 模型是在传统的活动轮廓模型基础上再对外力场进行改进的结果,与传统的活动轮廓模型相比,它具有很多优点,如具有更大的捕获范围,能进入 U 型区域等。GVF 场作为亮度梯度向量的扩散计算,可抑制噪音。另外,GVF 能够提供能轮廓内外双边的驱动力,从而可以从内外两侧捕获目标边界,不需要任何关于向边界收缩膨胀的先验知识。因此,GVF 场给物体边界提供很大的捕获范围^[10]。

假设 $f(x, y)$ 为灰度图像 $I(x, y)$ 的轮廓图像,则 $f(x, y)$ 的梯度场为 $\nabla f(x, y)$;梯度场 $\nabla f(x, y)$ 向图像边缘迭代扩散,则形成扩散梯度矢量流 $V(x, y) = [u(x, y), v(x, y)]$ 。GVF 力场扩散范围是以 GVF 迭代的次数为代价的。GVF 力场迭代式为^[11]:

$$u_t(x, y, t) = \mu \nabla^2 u(x, y, t) - (u(x, y, t) - f_x(x, y))(f_x^2(x, y) + f_y^2(x, y))$$

$$v_t(x, y, t) = \mu \nabla^2 v(x, y, t) - (v(x, y, t) - f_y(x, y))(f_x^2(x, y) + f_y^2(x, y))$$

式中 u, v 分别表示图像灰度在 x, y 两个方向上的变化, $f_x(x, y), f_y(x, y)$ 是 $f(x, y)$ 对 x, y 的偏导数, ∇^2 是拉普拉斯算子, μ 是调整系数,它的取值与图像中噪声的大小有关,噪声大,取值相应也大,反之亦然,此处 μ 取 0.2。因为梯度矢量流场是迭代计算而得, GVF Snake 模型逼近目标轮廓的准确性,主要就是以矢量流场迭代计算的复杂度为代价的。进行多次迭代,可以得到新的向量场分量 u 和 v ,在它们的作用下,Snake 模型的初始轮廓可以不必充分靠近真实边缘,并可以进入凹形区域,从而拟合更加准确。但付出的代价却是巨大的时间开销。所以,为了满足系统的实时性,必须减少迭代次数。由于在此试验中,是先将舌体进行增强^[12],只保留较粗糙的舌体轮廓(如图 1),其他背景部分都设为黑色,这样舌体与背景形成鲜明的对比,所以在计算场强的迭代中,只需进行少量的迭代次数就可满足轮廓的准确性要求,极大地减少了时间的花费。本试验中只选择进行 20 次就可取得较好效果。

3.2 初始轮廓的自动形成

首先,用 $V(x, y)$ 表示位置 (x, y) 处的力场。在式 $V(x, y) = [u(x, y), v(x, y)]$ 中, $u(x, y), v(x, y)$

分别表示在位置 (x, y) 处水平方向和垂直方向的力场大小。实验中发现,在增强轮廓线的左侧附近 $u(x, y) > 0$,右侧附近 $u(x, y) < 0$;上侧附近 $v(x, y) > 0$,下侧附近 $v(x, y) < 0$ 。因为初始轮廓设在目标轮廓外围,有较小的边缘损失,十分逼近目标轮廓,所以,在舌体呈现为正倒三角形时,右边剩余的 7 个轮廓点,应均在目标轮廓线的右下方,即 $u(x, y) < 0, v(x, y) < 0$ 。左边剩余的 7 个轮廓点,应均在目标轮廓线的左下方,即 $u(x, y) > 0, v(x, y) < 0$ 。而且,在目标轮廓线周围 5 个像素范围之内,其力场值的绝对值 $|V|$ 在 0.1 与 1 之间。如此可在目标轮廓线附近,按照逆时针的方向,寻得 14 个轮廓点后。连结 16 个轮廓点,得到一个舌体轮廓模样的多边形轮廓。

3.3 Snake 模型拟合逼近舌体目标轮廓线

Snake 模型的基本思想是在图像中找出一条参数化的轮廓曲线。其原理为^[10]:首先对拟合目标设置一条初始曲线,通过构造合适的变形能 E 来定义这条初始曲线的能量函数,然后在图像力和外部约束力的作用下,曲线将逐渐变形并移动到能量函数的最小值点。能量函数包括内部能量函数和外部能量函数,它的设计原则就是:尽量保证曲线的连续、平滑,以及曲线与高梯度区域尽可能地接近。这样,活动轮廓在取值范围内移动时,就能在能量函数的约束下收敛到局部边缘。图像力即内力起平滑约束的作用,外力则引导 Snake 初始轮廓向图像边缘移动。

Snake 模型的表达式为^[13]:

$v(s) = [x(s), y(s)], s \in [0, 1]$, 其对应的能量函数表达式为:

$$E_{\text{snake}} = \int_0^1 E_{\text{snake}}[v(s)]ds = \int_0^1 E_{\text{int}}[v(s)] + E_{\text{ext}}[v(s)]ds$$

式中: E_{int} 为曲线的内部能量,主要由轮廓的本身的连续性和各点曲率的大小来确定,反映了轮廓曲线的张力和刚性力; E_{ext} 为曲线的外部能量,由图像的特征来决定,通常定义为图像梯度信息和其它人为添加的外部约束力。外部能量函数在图像边缘处达到局部极小值,促使曲线移动到显著特征处。内力能量表达式为:

$$E_{\text{int}} = [\alpha(s) | V_x(s) |^2 + \beta(s) | V_y(s) |^2] / 2$$

式中:第一项为曲线相对于弧长的一阶导数,受弹性系数 $\alpha(s)$ 的调节,控制着曲线的张力;第二项为曲线相对于弧长的二阶导数,受刚性系数 $\beta(s)$ 的调节,控制曲线的变形程度。外力能量表达式为:

$$E_{\text{ext}} = -| \nabla I(x, y) |^2, \text{式中,} \nabla \text{为梯度算子。}$$

Snake 的运动过程就是寻找能量函数最小点的过程。在边缘区域,梯度往往较大,取反正是为了满足能

量最小的要求。每一次迭代,曲线的变形就是为了使式

$$E = \int_0^1 \frac{1}{2} [\alpha(s) | V_x(s) |^2 + \beta(s) | V_y(s) |^2] + E_{\text{ext}}(v(s))ds$$

达到最小化,此时能量 E 必须满足如下 Euler 公式:

$$\alpha(s)x_{ss} + \beta(s)x_{sss} \frac{\partial E_{\text{ext}}}{\partial x} = 0$$

$$\alpha(s)y_{ss} + \beta(s)y_{sss} \frac{\partial E_{\text{ext}}}{\partial y} = 0$$

Snake 模型的初始位置是决定轮廓能否收敛到全局极值的关键。这个关键点也使得 Snake 模型对初始轮廓的位置要求相当高,必须逼近物体真实轮廓,才能取得较好的效果。

在上一节中,得到的 16 个初始轮廓点连接而成的轮廓线,非常接近目标轮廓,所以要完成轮廓的逼近拟合,只需几步迭代就可。在能量 E 满足 Euler 公式的条件下,按照能量公式

$$E = \int_0^1 \frac{1}{2} [\alpha(s) | V_x(s) |^2 + \beta(s) | V_y(s) |^2] + E_{\text{ext}}(v(s))ds$$

进行迭代计算,逼近拟合出轮廓。试验中,仅需 5 次迭代后即可拟合出较好的结果(如图 3 所示),图 4 为最终结果图。

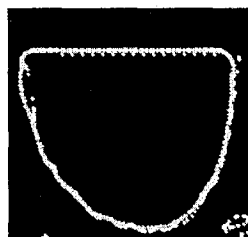


图 3 自动 5 次迭代结果图

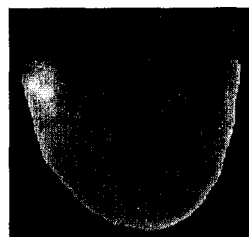


图 4 最终结果图

4 实验结果分析

与手动设置初始轮廓比较,此法时间消耗很少。图 5 为用手动提取轮廓方法在 5 次迭代情况下的结果,实验图片尺寸为 207 像素 * 216 像素。

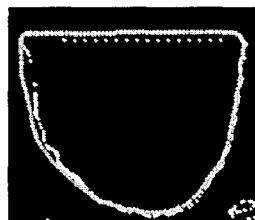


图 5 手动 5 次迭代

图 3 和图 5 相比较,可以看出,在相同的迭代次数下,自动提取轮廓方法比手动设置轮廓方法逼近拟合目标轮廓的效果要好。从表 1 可看出,在相同的迭代

次数下,自动提取轮廓方法比手动设置轮廓方法逼近拟合目标轮廓消耗的时间要少。所以说,自动提取轮廓方法与手动设置轮廓方法相比较,前者不仅比后者消耗时间少,而且提取效果也好得多。

表 1 自动与手动轮廓迭代消耗时间的比较

	场强迭代次数	5 次轮廓逼近消耗时间	10 次轮廓逼近消耗时间
自动	20 次	1.453s	2.328s
手动	20 次	1.986s	2.703s

但是,增强后得到的轮廓线的间断距离不能太大,否则场强大小不连贯,在第 3.2 节里初始轮廓自动形成过程中,停滞在间断处,而找不到下一个轮廓点。

5 结束语

文中的创新点在于根据舌体轮廓的大致形状信息,提出 16 点确定初始轮廓的方法。利用舌体根部暗区确定两点,然后根据增强轮廓线周围的力场大小分布规律,自动寻找剩余点。此方法避免了手工设置初始轮廓初值的问题。自动形成的 Snake 轮廓线也十分逼近真实轮廓,因 Snake 轮廓线落在其“有效逼近阈”内,因而迭代次数少,时间开销也就少,满足了舌诊系统的实时性。本方法的缺点是,增强轮廓线的周围不能有太多噪声,否则会因场强分布规律破坏,而在自动寻找轮廓点时产生较大偏差。另外增强轮廓线的间断距离也不能太大,否则,在自动寻找下一个轮廓点将会长时间停留在上一个轮廓点上,形成“死机”状态。在今后的实验研究中,将致力于解决这些问题。

参考文献:

- [1] 范延滨,刘彩霞,贾世宇,等. GVF Snake 模型中初始轮廓线设置算法的研究[J]. 中国图象图形学报,2008,13(1):58-63.
- [2] 方欣. 梯度自适应的图像复原方法[J]. 计算机工程与应用,2009,45(19):174-176.
- [3] 王鹤蒙,张燕,周昌乐. 舌像轮廓提取的优化算法[J]. 微计算机信息,2008,24(6-1):275-276.
- [4] 马超. 中医舌诊图像分割和特征提取方法研究[D]. 重庆:重庆大学,2007:24-26.
- [5] 沈兰荪,蔡铁珩,张新峰. 中医舌像的采集与分析[M]. 北京:北京工业大学出版社,2007:120-121.
- [6] Leroy B. Multi-resolution Algorithms for Active Contour Models[C]//The 12th Int. Conf. On Analysis and Optimization of systems. [s.l.]:[s.n.],1996.
- [7] Cohen L D, Cohen I. Finite Element Methods for Active Contour Models and Balloons for 2D and 3D Images[J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1993,15(11):211-218.
- [8] Cohen L D. On Active Contour Models and Balloons[J]. CVGIP:Image Understand,1993,53(2):1131-1147.
- [9] Xu Chenyang, Prince J L. Snakes, shapes, and gradient vector flow[J]. IEEE Transaction on Image Processing,1998,7(3):359-369.
- [10] 王雅萍,郭雷. 一种基于轮廓自扩展的 GVF 算法[J]. 火力与指挥控制,2009,34(4):26-29.
- [11] Li Jin, Xu Junhong. Contour Segmentation Algorithm of Multi-scale GVF Snake [C]//Mechatronics and Automation, IEEE International Conference on Mechatronics and Automation. Luoyang, China:[s.n.],2006:537-542.
- [12] 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):145-147.
- [13] 侯迎宾,肖扬. 改进的 Snake 模型及其在图像边缘提取中的应用[J]. 数据采集与处理,2008,23(2):153-157.
- [3] Morsi R, Jackson E. Playing and learning Educational gaming for engineering education[C]//Frontiers in education conference-global engineering:knowledge without borders, opportunities without passports,2007. FIE '07. 37th annual. [s.l.]:[s.n.],2007.
- [4] 唐文中,郭道明,李定仁. 小学游戏教学论[M]. 南昌:江西教育出版社,1995:1-12.
- [5] Munz U, Schumm P, Iesebrock A, et al. Motivation and Learning Progress Through Educational Games[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics,2007,54(6):3141-3144.
- [6] 黄光扬. 游戏化、动态化评价在教育过程及探索儿童心理发展潜能上的应用[J]. 学前教育研究,2003(7):10-11.
- [7] 章力. 电子游戏的严肃化与儿童教育——论游戏化学习[J]. 艺术教育,2005(6):12-13.
- [8] 高文. 教学模式论[M]. 上海:上海教育出版社,2002.
- [9] 司治国. 构建游戏化学习社区[J]. 中小学信息技术教育,2004(10):17-18.
- [10] Reigeluth C M. Instructional Design Theories and Models: an overview of their current status[M]. Hillsdale, NJ:Lawrence Erlbaum Associates,1983.
- [11] 李方. 课程与教学基本理论[M]. 广州:广东高等教育出版社,2002.
- [12] 陈炎. 电脑游戏对教学的启示[J]. 教学与管理,2002,(14):18-19.

(上接第 49 页)