·图形图像处理· 文章编号：1000-3428(2017)06-0230-06 文献标志码：A 中图分类号：TP391

基于细菌觅食优化算法的多色彩空间嘴唇分割

鲁远耀，郭振芳

（北方工业大学 电子信息工程学院，北京 100144）

摘 要： 结合多色彩空间处理、细菌觅食优化算法（BFOA）与关键点定位算法，提出一种新的嘴唇轮廓提取算法。对嘴唇图像进行色彩空间的转换，在不同的色彩空间对嘴唇图像进行色彩增强及色彩分割处理，利用 BFOA 结合 Kapur 最大熵阈值法对嘴唇区域图像求取最佳阈值，实现唇部精确分割。提取嘴唇的边缘关键点，并以提取到的关键点为输入，运用最小二乘曲线拟合的方法拟合嘴唇边缘轮廓，准确提取嘴唇的外部轮廓。实验结果表明，该方法能够完成对嘴唇的精确分割，并获得较高的分割准确率。

关键词： 视觉语言；细菌觅食优化算法；嘴唇分割；边缘关键点；边缘提取；曲线拟合

中文引用格式： 鲁远耀，郭振芳. 基于细菌觅食优化算法的多色彩空间嘴唇分割[J]. 计算机工程，2017，43(6)：230-235.

英文引用格式： Lu Yuanyao，Guo Zhenfang. Lip Segmentation in Multi-color Space Based on Bacterial Foraging Optimization Algorithm[J]. Computer Engineering，2017，43(6)：230-235.

Lip Segmentation in Multi-color Space Based on Bacterial Foraging Optimization Algorithm

LU Yuanyao，GUO Zhenfang

（School of Electronic and Information Engineering，North China University of Technology，Beijing 100144，China）

【Abstract】 This paper proposes a lip contour extraction algorithm based on a multi-color space processing，Bacterial Foraging Optimization Algorithm（BFOA） and key endpoints localization methods. The color space conversion is applied for the lip image，color enhancement and color segmentation is used in different color space over the lip image. The method of BFOA combined with Kapur maximum entropy threshold method are applied to obtain the best threshold of the lip region，achieving accurate lip segmentation. An adaptive binarization is performed to the resulted image to extract key points along the lip edge. Using the key points as inputs，it fits the lip edge contour based on the least square criterion and extracts outer contour of the lip precisely. Experimental result shows the strong lip segmentation robustness and higher recognition accuracy of the proposed method.

【Key words】 visual language；Bacterial Foraging Optimization Algorithm（BFOA）；lip segmentation；edge key points；edge extraction；curve fitting

DOI：10.3969/j.issn.1000-3428.2017.06.037

0 概述

自动语音识别（Automatic Speech Recognition，ASR）是将人类语音中的词汇内容转换为计算机可读的输入，在自动化和智能化研究领域有着广阔的应用前景。在自动语音识别过程中，由于受到环境噪声等外部信息的干扰，其识别准确率会急剧下降，因此传统的语音识别技术在此情况下难以取得理想的识别准确率。而视觉语言识别[1]的提出可以弥补自动语音识别的不足，由此视觉语言识别已经成为当前的研究热点，并且取得了长足的进步。在视觉语言识别过程中，核心步骤就是通过唇语识别[2]技术来对话语内容进行识别。而唇语识别关键的部分之一是嘴唇的特征提取，一般最常用到的就是轮廓特征，因此，嘴唇的轮廓精确分割及边缘提取成为关键所在[3]。

近年来，阈值分割技术取得了很大的发展。早期的分割方法是利用图像直方图统计全局方差来得到

基金项目： 国家自然科学基金（61571013）；北京市自然科学基金（4143061）。

作者简介： 鲁远耀（1977—），男，副教授、博士，主研方向为图像处理、视觉感知、模式识别；郭振芳，硕士研究生。

收稿日期： 2016-05-16 **修回日期：** 2016-07-19 **E-mail：** 1506197534@qq.com

阈值,但在优化目标函数时时间复杂度较高。而传统的分水岭分割算法又存在分割过度的缺点。进化算法在图像最佳阈值分割方面也有一定的应用,并取得了一些进展。如遗传算法(Genetic Algorithm,GA)[4]、蚁群优化(Ant Colony Optimization,ACO)算法[5]和细菌觅食优化算法(Bacterial Foraging Optimization Algorithm,BFOA)[6]等。

对于嘴唇图像分割,传统的方法如文献[7]是简单利用嘴唇边缘色彩信息突变这一特点来进行边缘的界定。这种方法在图像边缘色彩信息变化较为平缓时失去了价值。文献[8]是在 RGB 色彩空间中选取全局阈值对嘴唇进行分割。文献[9]是在 RGB 色彩空间结合聚类算法对嘴唇进行分割。文献[10]提出一种基于 RGB 色彩空间的区域生长算法来提取嘴唇边缘轮廓。上述方法都是在单一的色彩空间对嘴唇进行分割,但单一的色彩空间的处理方法适用范围有限[11],并且在阈值求取方面没有做到很好的精确度优化。

基于以上分析,结合各种方法的优缺点,本文提出一种基于 BFOA 的多色彩空间嘴唇分割方法。

1　细菌觅食优化算法

BFOA 是一种模拟生物学中大肠杆菌觅食行为的优化算法,其适用于求解优化问题,具有群体智能并行搜索、易跳出局部极小值等优点。该算法包括趋化、复制和驱散[12]3 个过程,其中,趋化过程模拟大肠杆菌细胞的游泳和翻转 2 种运动模式,其反映了细菌的探索和觅食行为;复制过程是细菌以适应度值的大小为标准,适应度值较低的半数细菌死亡,适应度值较高的半数细菌分裂成 2 个子细菌,子细菌将继承母细菌所有特性;驱散过程是使一个区域内的细菌被杀死或者使一组细菌扩散到一个新的区域,防止细菌陷入局部最优解。

1.1　改进的细菌觅食优化算法

设 P,S,N_c 分别表示细菌搜索空间的维数、群体中细菌的总数和趋化步骤的次数;N_S,N_{re},N_{ed},P_{ed} 分别表示细菌的游泳长度、复制步骤的次数、驱散事件执行的次数和驱散概率。

算法基本步骤如下:

步骤 1　驱散循环:$l=l+1$。

步骤 2　复制循环:$k=k+1$。

步骤 3　趋化循环:$j=j+1$。

1) for $i=1,2,\cdots,S$。

2)计算细菌 i 的适应度函数值 $J(i,j,k,l)$。

3)用 $J_{\text{last}}=J(i,j,k,l)$ 保存细菌 i 当前找到的最好的适应度函数值。

4)翻转:产生一个随机向量 $\boldsymbol{\Delta}(i)$,取值范围是 $[-1,1]$。

5)前移:细菌在翻转后的方向上移动一个自适应步长的位置。

$$X(i,j+1,k,l)=X(i,j,k,l)+C(i)\boldsymbol{\Delta}(i) \tag{1}$$

其中,$X(i,j+1,k,l)$ 表示细菌 i 当前的位置;m 是系数;b 是附加值,如果当前细菌 $J(i,j,k,l)$ 是菌群中最大值,则 $b=0$,否则设置 b 为一较小的数值,保证菌群可以跳出局部最优解。

在基本的细菌觅食算法趋化过程中,细菌步长是固定的。如果步长设置太小,算法则会过早收敛,且容易陷入局部最优解。如果步长太大,则会降低算法的收敛速度,且容易跳过全局最优解。因此,本文设置了一种随细菌适应度值变化而变化的自适应步长$C(i)$。当适应度值较小时步长自动变大,适应度值较大时步长自动变小,如式(2)所示。

$$C(i)=\frac{mJ(i,j,k,l)}{J(i,j+1,k,l)}+b \tag{2}$$

6)计算当前细菌的适应度值 $J(i,j+1,k,l)$。

7)游动。

8) if $i\neq S$,转向步骤 2),进行下一个细菌。

步骤 4　if $j<N_C$,转向步骤 3。

步骤 5　复制操作:对于给定的 k,l 值,for $i=1,2,\cdots,S$。

将菌群的各个细菌适应度值按从大到小顺序排列,保留前 $S/2$ 个细菌进行复制。

步骤 6　if $k<N_{re}$,转向步骤 2。

步骤 7　驱散操作:for $i=1,2,\cdots,S$。

每个细菌依概率 P_{ed} 被重新驱散到寻优空间中的任意位置。

步骤 8　若 $l<N_{ed}$,则转向步骤 1,否则整个算法结束。

BFOA 的初始化参数统计如表 1 所示。整个细菌觅食优化算法流程如图 1 所示。

表 1　BFOA 的参数统计

BFOA 的初始化参数	数值
细菌的总数 S	24
细菌搜索空间的维数 P	1
趋化步骤的次数 N_c	15
细菌的游泳长度 N_s	8
复制步骤的次数 N_{re}	4
驱散操作执行的次数 N_{ed}	2
驱散概率 P_{ed}	0.25

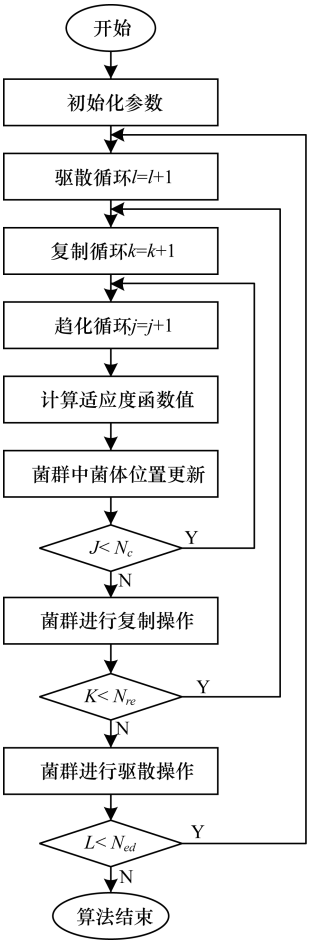


图 1 细菌觅食优化算法流程

1.2 最优阈值法

本文用 Kapur 算法作为上述 BFOA 中的适应度函数,应用到嘴唇图像分割中,使图像中的背景和目标信息量达到最大[13]。

在一幅 8 位的灰度图像中,将灰度级设置为[0,1,…,$L-1$],$L=256$。对于阈值 t 的两级分割,图像被划分为 2 个子类 C_0 和 C_1。其中,$C_0=(0,1,\cdots,t)$;$C_1=(t+1,t+2,\cdots,L-1)$。

每个子类的熵分别为:

$$H_0=-\sum_{i=0}^{t-1}\frac{p_i}{w_0}\ln\frac{p_i}{w_0},\quad H_1=-\sum_{i=t}^{L-1}\frac{p_i}{w_1}\ln\frac{p_i}{w_1} \tag{3}$$

其中,$w_0(t)=\sum_{i=0}^{t-1}p_i$;$w_1(t)=\sum_{i=t}^{L-1}p_i$;$p_i=\frac{h(i)}{N}$;$p_i$ 表示概率密度;$h(i)$表示灰度为 i 的像素个数;N 表示图像像素的总个数。

最大熵准则算法的目标函数被定义为:

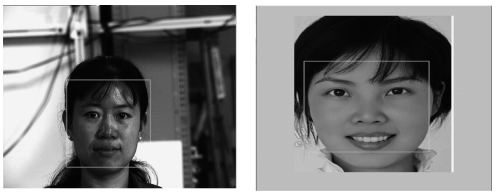
$$J(t)=H_0+H_1 \tag{4}$$

因此,当 $J(t)$最大时,获得最佳阈值。

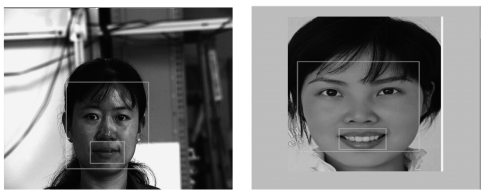
2 嘴唇分割方法

2.1 脸部和嘴唇区域检测

为了排除不必要的干扰和减小后续工作的复杂性,只需将研究重点放在唇部分割和外部轮廓提取上。因此,本文首先调用 OpenCV 视觉开源库进行人脸检测,如图 2(a)所示。在此基础上,通过眼睛、鼻子和嘴巴等几何特征信息检测嘴唇区域,最后将唇部定位,如图 2(b)所示。经过多次实验表明,该方法可以取得较好的效果。之后再将唇部图像作为输入,对其进行后续处理。



(a)脸部区域检测



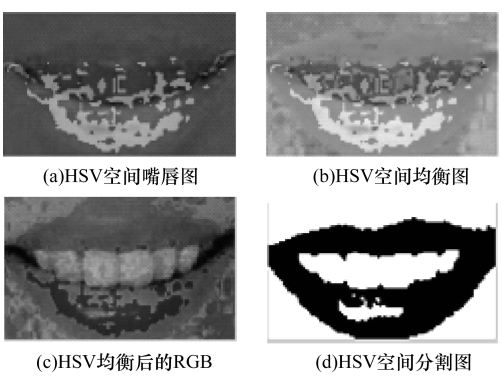
(b)唇部区域检测

图 2 人脸和嘴唇区域的检测

2.2 多色彩空间的嘴唇分割

多色彩空间的嘴唇分割方法如下:

1)首先将图像由 RGB 色彩空间转换到 HSV 色彩空间[14]。HSV 空间示意图如图 3 所示。由于本文提出的方法不考虑光照强度的影响,因此排除亮度分量 V,只考虑 H 分量和 S 分量,然后对 H 分量和 S 分量进行均衡处理,利用 BFOA 并以最大熵 Kapur 算法为适应度函数寻找最佳阈值,对嘴唇进行精确分割(BFOA 在前文已经详细介绍)。图 3(d)为在 HSV 空间寻优后的二值图。



(a)HSV空间嘴唇图 (b)HSV空间均衡图

(c)HSV均衡后的RGB (d)HSV空间分割图

图 3 HSV 空间示意图

2)将图像由 RGB 色彩空间转换到 chromatic 三色空间[15],具体映射如式(5)所示。

$$r=\frac{R}{R+G+B},g=\frac{G}{R+G+B},b=\frac{B}{R+G+B} \tag{5}$$

其中,R,G,B 分别是 RGB 空间中的红、绿、蓝分量;r,g,b 分别是 chromatic 空间中的红、绿、蓝分量。颜色映射后,通过式(6)计算出每个像素点 r 分量的比例值。通过式(7)计算出全局 r 分量的比例均值。利用 Fisher 变换,通过式(8)求分割阈值,对图像进行分割。

$$r' = \frac{r}{r+g+b} \tag{6}$$

$$x = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^{i=M\times N} r_i' \tag{7}$$

$$\theta = \frac{1}{2}\ln\left(\frac{1+x}{1-x}\right)\theta \tag{8}$$

chromatic 空间示意图如图 4 所示。将分割后的图像进行二值化处理,如图 4(d)所示。

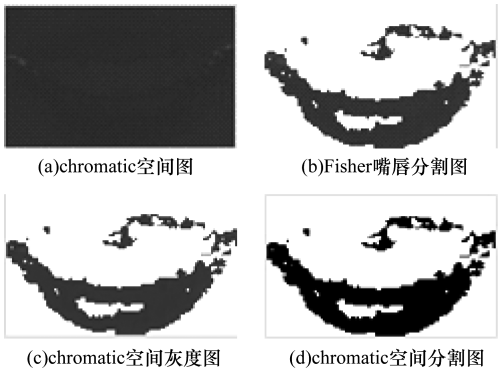


图 4　chromatic 空间示意图

由图 3(d)和图 4(d)可以看出,HSV 色彩空间分割较好地保留了图像细节,chromatic 三色空间分割能够定位边缘信息。因此,对两结果做数学或运算操作,可以较完整地勾勒出嘴唇形状。计算过程如式(9)所示。

$$f_{\text{in}}(x,y) = f_1(x,y) \wedge f_2(x,y) \tag{9}$$

其中,$f_{\text{in}}(x,y)$ 表示最终图像中 (x,y) 处的像素值;$f_1(x,y)$ 表示 HSV 空间嘴唇图像中 (x,y) 处的像素值;$f_2(x,y)$ 表示 chromatic 空间嘴唇图像中 (x,y) 处的像素值。

相或操作后的嘴唇如图 5(a)所示。经形态学闭运算操作后,平滑了嘴唇边缘轮廓并补全了轮廓缺口。图 5(b)为最终得到的嘴唇精确区域。整个算法的流程如图 6 所示。

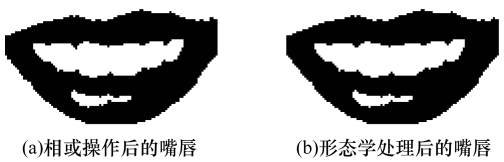


图 5　两色彩空间结合后的二值嘴唇示意图

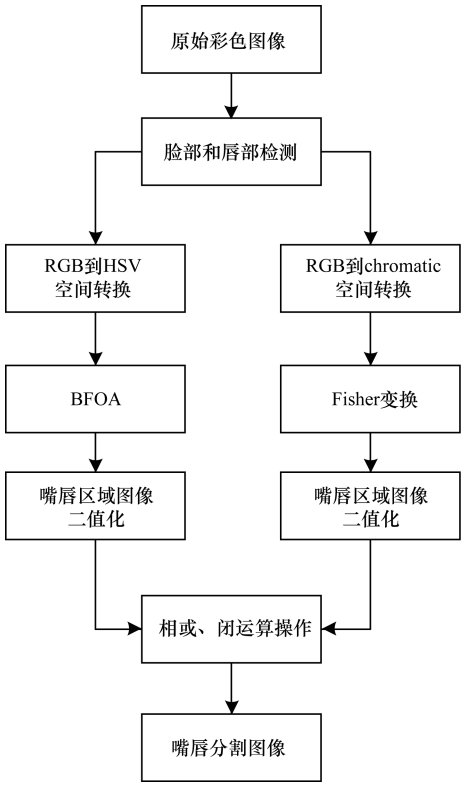


图 6　嘴唇分割算法流程

3　嘴唇外轮廓的提取

3.1　嘴唇轮廓边缘点的提取

完成分割嘴唇图像后,开始进行嘴唇外边缘轮廓点的查找。具体算法流程如下:

步骤 1　在图 5(b)中查找最左和最右的 2 个黑色点,并记录这 2 个点的坐标。判断这 2 个点的横坐标是否太靠近图像边缘,判定条件为距离左右边缘的距离是否大于 3 个像素单位。若不满足判定条件,则以列为单位重新向内查找最左和最右的黑色像素点,并再次进行条件判断;若满足则将其标记为左右 2 个嘴角的基准点。进入步骤 2。

步骤 2　在灰度图像中,首先以这 2 个基准点为中心,然后在一个 9×9 的像素区域内计算每个像素点 4 邻域灰度值的和,最后取 4 邻域灰度值和最小的那个点作为最终的嘴角点。进入步骤 3。

步骤 3　首先取 2 个嘴角点横坐标和的 1/2 作为嘴唇下边缘中间边缘点的横坐标,并在这个横坐标与左右 2 个嘴角点之间分别等距离取 2 个横坐标值。然后在图 5(b)中这 5 个横坐标处从图像最下边向上扫描,遇到第 1 个黑色的像素点标记为下嘴唇关键边缘点。

步骤 4　利用灰度图找上嘴唇的边缘关键点。其方法是在下嘴唇的 5 个边缘点所在的横坐标位置

上,从图像最上面到图像高度的 1/2 处搜索第 1 个灰度值小于该列上半部分灰度平均值的像素点,将其标记为上嘴唇关键边缘点。

步骤 5 在说话过程中,嘴唇会出现闭合和张开 2 种状态。闭合状态不需要提取内边缘点,在张开状态下,则利用步骤 4 中的方法提取出内轮廓点。由于嘴唇内轮廓在说话过程中变化幅度较小,因此嘴唇内轮廓只需提取上下 2 个边缘点即可。图 7 所示为嘴唇所有关键边缘轮廓点。

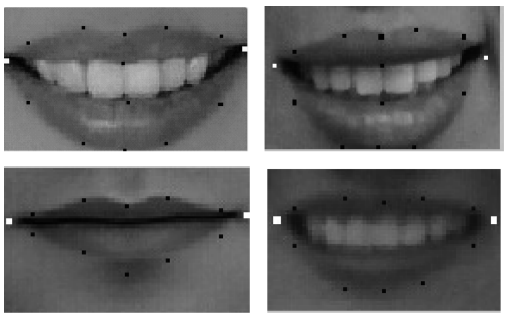


图 7 嘴唇的关键边缘轮廓点

3.2 嘴唇外轮廓的提取

本文采用最小二乘法将图 7 中的外轮廓点进行拟合,使曲线最大限度地逼近那些关键点,并舍去某些错误点。在图 8 所示的嘴唇模型中,上边缘存在明显的分界点,所以在拟合的过程中,嘴唇上边缘用 2 条曲线进行拟合。仿真实验结果表明,上嘴唇用三次曲线模型,下嘴唇用二次曲线模型进行拟合更为准确。其中,Y_l表示上边缘左半部分曲线;Y_r表示上边缘右半部分曲线;Y_b 表示下嘴唇边缘曲线。

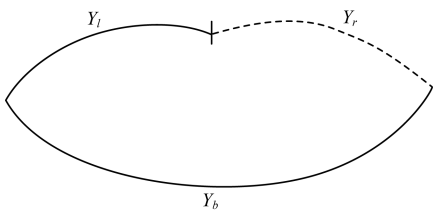


图 8 嘴唇模型拟合曲线

拟合曲线表达式如式(10)所示。

$$\begin{aligned} Y_l &= a_1X^3 + b_1X^2 + c_1X + d_1 \\ Y_r &= a_2X^3 + b_2X^2 + c_2X + d_2 \\ Y_b &= b_3X^2 + c_3X + d_3 \end{aligned} \tag{10}$$

拟合出的曲线效果如图 9 所示。

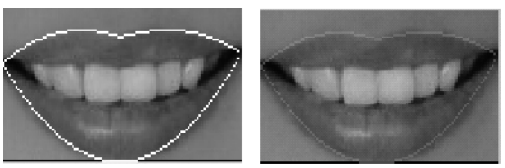


图 9 拟合结果示意图

4 实验与结果分析

本文实验的测试环境为:Intel Core i5-750 CPU @2.66 GHz,内存为 4 GB,操作系统为 Windows7。整个工作的开发软件使用的是 Matlab R2013b。实验对 50 幅不同状态的嘴唇图像进行测试。

对于嘴唇分割效果的实验,本文选用手动分割的嘴唇区域作为参考标准,用文中分割方法获得的区域和参考标准区域的重叠率(POL)作为评价指标[16],其计算公式如下:

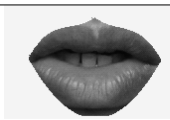
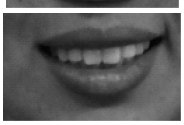
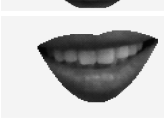
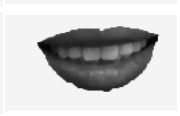
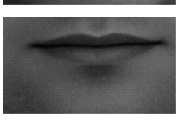
$$POL = \frac{2(P_1 \cap P_2)}{P_1 + P_2} \times 100\% \tag{11}$$

其中,P_1 为参考标准区域;P_2 为利用本文方法分割出来的嘴唇区域。在测试中,根据重叠率的高低,将结果分为准确、良好和不准确。评判标准为 $POL \geqslant 90\%$ 为准确,$80\% \leqslant POL < 90\%$ 为良好,$POL < 80\%$ 为不准确。测试结果如表 2、表 3 所示。

表 2 嘴唇分割结果

分割效果	样张数量	比率/%
准确	36	72
良好	8	16
不准确	6	12

表 3 实验结果和参考标准对比

原始嘴唇区域	拟合轮廓区域 P_2	参考标准 P_1	重叠率/%
			92.6
			93.9
			92.1
			88.9

对于嘴唇外轮廓拟合的实验,相比于单色彩空间进行处理的效果,利用本文方法提取出来的嘴唇外轮廓更加精确。评价规则同样是将拟合曲线所包围的嘴唇区域与手动分割的嘴唇区域进行比对,重合率在 90% 以上的即为正确,反之即为错误。本文对 50 幅人脸样张图像的测试统计数据如表 4 所示。

表 4 2 种方法人脸测试数据对比

测试方法	样张总数	正确次数	错误次数	正确率/%
单色空间方法	50	37	13	74
本文方法	50	44	6	88

另外选取 10 幅人脸图像,利用本文方法和其他 2 种不同方法进行嘴唇分割实验,并分别统计其分割准确率和时间消耗,如图 10、图 11 所示。

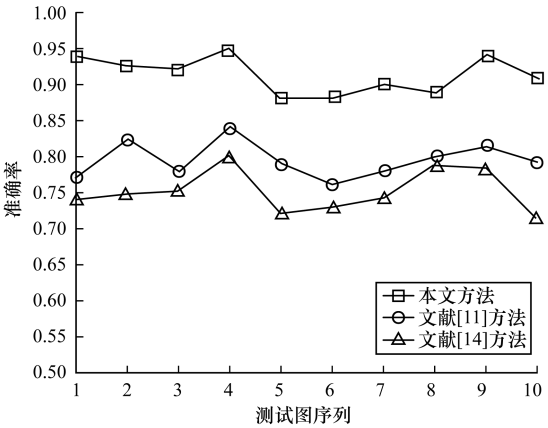


图 10　本文方法分割准确率与其他方法的比较

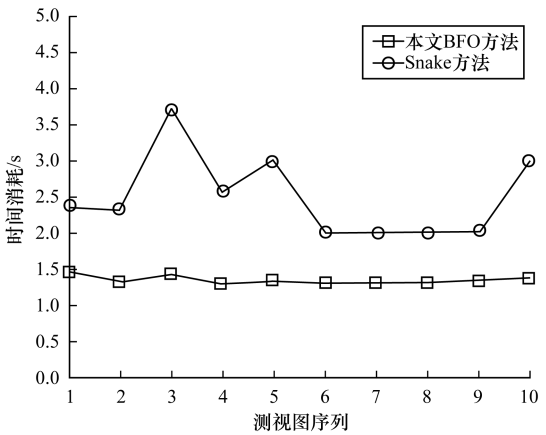


图 11　本文方法时间消耗与 Snake 方法的比较

通过表 2、表 3、图 10 以及图 11 分析得出,本文所提出的方法是可行的,且具有较好的适应性。在与其他方法的比较中,本文方法都具有明显的优越性。在与同类型的基于色彩空间处理方法相比,本文方法最大限度地减少了信息损失。用最小二乘法对嘴唇边缘轮廓进行拟合,使分割结果更加准确。与基于 Snake 模型方法的相比,本文方法更为高效,耗时更短。

本文方法的创新之处有 2 点:1)目前 BFOA 在图像分割方面的应用很少,即使是在已有的利用 BFOA 分割嘴唇的方法中,大多也是以整个人脸图像作为分割对象,而本文仅以嘴唇区域图像作为输入进行分割,避免了不必要的干扰。2)采用了新的多色彩空间处理方法,较之单一色彩空间,该方法充分利用了多种色彩空间信息,进一步提升了嘴唇分割的准确率。

5　结束语

本文提出一种基于 BFOA 的多色彩空间的嘴唇分割方法。通过 HSV 和 chromatic 色彩空间的处理分割出嘴唇区域,并采用最小二乘拟合提取嘴唇的外轮廓,以便进行后续的特征提取。实验结果表明,该方法高效、可靠,具有较好的适应性,并且能满足话语内容识别系统的要求。但本文方法尚有不足,在多色彩空间对嘴唇图像进行灰度处理以及二值化的方法还有待改进,这将是下一步研究的内容。

参考文献

[1] Dalka P, Kostek B, Czyzewski A. Vowel Recognition Based on Acoustic and Visual Features[J]. Archives of Acoustics,2006,33(3):275-288.

[2] Mcgurk H, Macdonald J. Hearing Lips and Seeing Voices[J]. Nature,1976,264(5588):746-748.

[3] Stillittano S, Girondel V, Caplier A. Lip Contour Segmentation and Tracking Compliant with Lip-reading Application Constraints [J]. Machine Vision & Applications,2013,24(1):1-18.

[4] 肖理庆,邵晓艮,李子龙.基于遗传算法的组合 ERT 图像重建算法研究[J].仪器仪表学报,2010,31(2):305-311.

[5] 许川佩,蔡　震,胡　聪.基于蚁群算法的数字微流控生物芯片在线测试路径优化[J].仪器仪表学报,2014,35(6):1417-1424.

[6] Sathya P D,Kayalvizhi R. Optimal Multilevel Thresholding Using Bacterial Foraging Algorithm[J]. Expert Systems with Applications,2011,38(12):15549-15564.

[7] Eveno N, Caplier A, Coulon P Y. Key Points Based Segmentation of Lips[C]//Proceedings of International Conference on Multimedia and Expo. Lausanne, Switzerland:[s. n.],2002:125-128.

[8] Bangsawan H T,Mardiyanto R. Six Key Points Lip's Feature Extraction Using Adaptive Threshold Segmentation [C]// Proceedings of IEEE International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications. Washington D. C. ,USA:IEEE Press,2015:261-266.

[9] Ezzati V,Ghaleh C,Behrad A. Lip Contour Extraction Using RGB Color Space and Fuzzy C-means Clustering [C]// Proceedings of IEEE CIS'10. Washington D. C. , USA: IEEE Press,2010:1-4.

[10] Yang Chengjia, Li Xiongfei. Lip Contour Extraction of RGB-based Improved Region Growing Algorithm[C]// Proceedings of International Conference on Software Engineering and Service Science. Beijing, China: [s. n.],2014:597-600.

[11] 奉小慧,王伟凝,吴绪镇.基于多色彩空间的自适应嘴唇区域定位算法[J].计算机应用.2009,29(7):1924-1927.

[12] Bakhshali M A, Shams M. Segmentation of Color Lip Images By Optimal Thresholding Using Bacterial Foraging Optimization [J]. Journal of Computational Science,2014,5(2):251-257.

[13] 吕宗伟,杨世琦,高阳华. kapur 多级分割的阈值相关性及其快速实现算法[J].计算机辅助设计与图形学学报,2014,26(11):2056-2063.

[14] Zhou Ziheng, Hong Xiaopeng, Zhao Guoying. A Compact Representation of Visual Speech Data Using Latent Variables[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2014,36(1):181-187.

[15] 邓广宏,曹万华,夏　奕.基于特征向量的基本口型分类[J].计算机应用与软件,2010,27(10):46-49.

[16] Chin S W,Seng K P,Ang L M. Lips Contour Detection and Tracking Using Watershed Region-based Active Contour Model and Modified H_∞ [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology,2012,22(6):869-874.

编辑　索书志