

多颜色空间中玉米叶部病害图像图论分割方法*

虎晓红¹ 李炳军² 刘芳²

(1. 河南农业大学经济与管理学院, 郑州 450002; 2. 河南农业大学信息与管理科学学院, 郑州 450002)

摘要: 为了提高农田自然背景下玉米叶部病害诊断精度, 提出了一种多颜色空间下的玉米叶部病害的图论分割方法。该方法在不同的颜色空间中引入图论进行分割, 分别在单一颜色空间下将玉米病害的分割问题转换为图的分割问题, 再通过有效的融合方法对初始的分割结果进行信息融合。通过对玉米叶部病害图像的分割实验表明, 该方法的分割效果较好。在多种颜色空间下进行玉米叶部病害的图论分割方法是可行的、有效的。

关键词: 玉米病害 颜色空间 图论 图像分割 信息融合

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)02-0177-05

Image Segmentation Based on Graph Theory in Multi-color Space for Maize Leaf Disease

Hu Xiaohong¹ Li Bingjun² Liu Fang²

(1. College of Economics and Management, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

2. College of Information and Management Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: To improve the accuracy of machine vision based maize leaf disease segmentation under the background of farmland, a graph theory based approach to maize leaf disease segmentation in multi-color space was proposed. The graph theory was used in different color spaces and the maize leaf disease segmentation was then formulated as a graph segmentation problem in different color spaces. Furthermore, an effective fusion method was applied to update the initial segment result. Experiments on the maize leaf disease showed that the segmentation results were good. The results revealed that the proposed approach was feasible and effective.

Key words: Maize disease Color space Graph theory Image segmentation Information fusion

引言

随着计算机性能的提高和机器视觉的发展, 基于机器视觉技术的作物病害诊断已成为精准农业的一个重要发展方向^[1~3]。虽然基于机器视觉的作物病害诊断已取得了一些进展^[4~9], 但是, 这些作物病害图像分割通常在单一的颜色空间下采用基于阈值和传统的机器学习方法进行^[10~11], 而作物病害图像存在信息成分繁杂、颜色分布及曝光不均等诸多干扰因素, 进行病斑分割时很难去选择一个合适的颜色空间, 且基于阈值和传统机器学习方法的作物病

害分割局限于背景单一、颜色均匀分布的实验室环境。基于图论的图像分割技术近年来有很大进展, 成为图像分割的新研究热点, 采用图论进行图像分割的主要思想是将图像分割转换为图的分割问题, 它在考虑图像空间分布的同时也降低了噪声, 因此被逐步应用到不同的图像分割领域^[12~13]。为了解决作物病害图像分割中背景和颜色分布影响的问题, 本文将信息融合思想应用到作物病害图像分割中, 提出一种不同颜色空间下的图论分割方法进行病斑分割, 以提高作物病害分割效果对大田自然环境的适应性。

收稿日期: 2012-02-16 修回日期: 2012-03-24

* 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2008AA10Z220)和河南省科技创新人才基金资助项目(094100510013)

作者简介: 虎晓红, 副教授, 博士后, 主要从事农业信息化、图像分析和信息融合研究, E-mail: wd9702@163.com

通讯作者: 李炳军, 教授, 博士生导师, 主要从事农业信息化、人工智能研究, E-mail: zzbjun@163.com

1 多颜色空间下的病害图像分割框架

采集的作物病害图像往往光照多变,病斑背景复杂,使得基于机器视觉的作物病害分割成为难点,颜色空间的选择直接影响分割效果,常用颜色空间中,RGB空间可以在一定程度上减小光照条件导致的病斑差异;YCrCb空间减少了RGB空间色彩通道的冗余,同时用显示分离的亮度和色度来表示颜色信息; $C_1C_2C_3$ 空间^[12]描述了每一个像素关于阴影、高亮等颜色结构信息。它们具有对光照条件的不变性,定义为

$$\begin{cases} C_1 = \arctan \frac{r}{\max(g, b)} \\ C_2 = \arctan \frac{g}{\max(r, b)} \\ C_3 = \arctan \frac{b}{\max(r, g)} \end{cases} \quad (1)$$

由于不同颜色空间各具特点,因此在光照及复杂纹理背景下,综合运用不同空间的特点进行病斑分割,可在一定程度上消除影响作物病害分割的不利因素,提高病斑分割的精度和鲁棒性。所设计的多颜色空间下的作物病害分割框架如图1所示。分别在RGB、YCrCb和 $C_1C_2C_3$ 空间下进行分割,分割方法可运用传统的阈值法等。

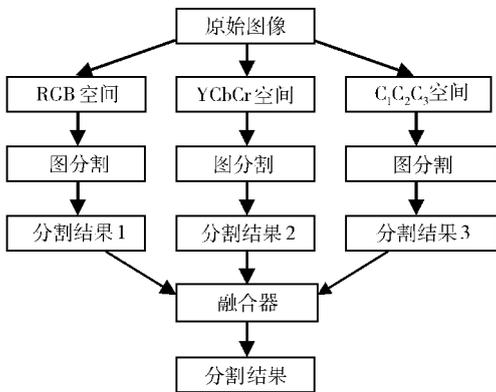


图1 多颜色空间下的病害分割框架

Fig. 1 Disease segment framework based on multi-color spaces

近年来,基于图论的分割方法由于能够较好地把握图像的几何结构和全局特征成为图像分割领域的研究热点,但在作物病害分割领域应用尚少,本文在单一空间下使用图论的方法对作物病害进行分割,将各空间分割的结果进行有效融合以获取更稳定和精度更高的结果。

2 图像分割方法

2.1 图分割

设图 $G = (V, E)$, 其中顶点 $v_i \in V$ 为被分割元素

的集合,边 $(v_i, v_j) \in E$ 对应着一对相邻顶点, $w(v_i, v_j)$ 为相对应边 $(v_i, v_j) \in E$ 上的权重,表示相邻顶点 (v_i, v_j) 间相异程度的非负度量。一个分割 S 为将 V 分成几个区域,区域 $C \in S$ 对应于图 $G' = (V', E')$, $V' \subseteq V, E' \subseteq E$ 中的一个连通区域,在同一区域中的元素相似,不同区域中的元素相异,则一个区域 $C \in S$ 的内部差别为 C 中最小生成树中权重的最大值,即

$$\text{Int}C = \max_{C \in \text{MST}(C, E)} w(e) \quad (2)$$

其中, $\text{MST}(C, E)$ 为 C 的最小生成树的边的集合。

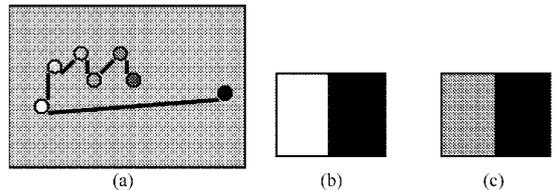


图2 区域内部差异图

Fig. 2 Inter difference of region

(a) 最小生成树 (b) 传统图区域差异 (c) 改进图区域差异

对于图2a中的区域最小生成树,依据式(2)中的度量方式,则整个区域的内部差异为最小生成树上黑白两结点之间的差异,如图2b所示,显然,这种度量方式没有考虑最小生成树上其他结点对整个区域差异的影响,为了综合各个结点对区域内部差异性的影响,将传统图分割中区域内部距离的度量方式定义为

$$\text{Int}C = \frac{1}{N} \sum_{C \in \text{MST}(C, E)} w(e) \quad (3)$$

其中, N 为 $\text{MST}(C, E)$ 中边的数目,则对应于图2a中的区域最小生成树,区域差异表示如图2c所示。区域间相似度函数定义为

$$\text{dif}(C_i, C_j) = \min_{v_i \in C_i, v_j \in C_j, (v_i, v_j) \in E} w(v_i, v_j) \quad (4)$$

用判定函数来测定区域包之间的差别 $\text{dif}(C_i, C_j)$ 是否大于区域内部的差别 $\text{Int}C_i$ 和 $\text{Int}C_j$

$$D(C_i, C_j) = \begin{cases} 1 & (\text{dif}(C_i, C_j) > \psi) \\ 0 & (\text{其他}) \end{cases} \quad (5)$$

其中 $\psi = \min(\text{Int}C_i, \text{Int}C_j) + \lambda(C_i, C_j)$

$$\lambda(C_i, C_j) = \begin{cases} \delta(C_i) & (\text{Int}C_i < \text{Int}C_j) \\ \delta(C_j) & (\text{其他}) \end{cases}$$

$$\delta(C) = k/|C|$$

式中 λ ——程度参数,用来控制区域之间的差别必须比最小区域内部差大的程度

$|C|$ ——区域中的像素数

k ——尺度参数

2.2 多空间图像分割的融合方法

为了使在多空间下获取的初始分割得到有效的互补,进行初始分割结果的融合,设多空间 $T =$

$\{RGB, YCrCb, C_1C_2C_3\}$, 图像在多空间下分割的区域数分别为 γ, μ, η , 点 $v_i (v_i \in V)$ 在多空间下对应的区域分割编号分别为 $S_i^{(1)}, S_i^{(2)}, S_i^{(3)}$, 其中 $1 \leq S_i^{(1)} \leq r, 1 \leq S_i^{(2)} \leq \mu, 1 \leq S_i^{(3)} \leq \eta$, 则点 v_i 在 T 下以 v_i 为中心, R_{v_i} 为窗口的直方图表示为

$$LH(R_{v_i}) = \left\{ \frac{n_j}{N_w^2} \right\}_{j=1,2,\dots,\gamma+\mu+\eta} \quad (6)$$

式中 n_j —— R_{v_i} 中类标记为 j 的像素的个数

维数为 $\gamma + \mu + \eta$, 用 k 均值聚类方法对病害图像初始分割后形成的类别标记直方图向量进行新的聚类, 以获取初始分割的融合分割结果。

3 分割算法

输入玉米病害图像、尺度参数 k 和融合聚类 p , 算法步骤为: ①输入玉米叶部病害图像, 提取每个像素的颜色值, 颜色特征值在 RGB、YCrCb 和 $C_1C_2C_3$ 空间下分别提取。②在不同颜色空间下分别构建图 $G = (V, E)$; 本文中 V 为输入的玉米叶部病害图像中的每个像素点, 为了降低计算的复杂度, E 的权重取每个像素和其 4 邻域像素间的特征差融合值, 不相连边的权重置为 ∞ 。③在不同空间下分别对图中所有边 E 按权重进行升序排列 $(e'_1, e'_2, \dots, e'_r)$ 。④在每一个颜色空间里, 对应于每一个排序边 $e'_q (1 \leq q \leq r)$, 如果在第 $q-1$ 次迭代中第 i 个区域 C_i 和第 j 个区域 C_j 不重叠, 即 $C_i^{q-1} \neq C_j^{q-1}$, 并且满足 $D(C_i, C_j) = \text{false}$, 则合并 C_i^{q-1}, C_j^{q-1} , 迭代初值为每个像素点自身构成一个单独的区域, 直到 $q = r$ 时迭代终止。⑤在多颜色空间中, 随机选取 p 个聚类中心, 计算图像中每个像素到 p 个聚类中心的距离, 并把该像素归为取最小距离的聚类中心的类别。⑥将每个类别的所有像素点的均值向量作为新的聚类中心, 重新调整 p 个聚类中心, 迭代计算, 直到新的聚类中心与上一次的聚类中心相同。

4 实验结果及分析

实验在主频 3.0 GHz、内存 2 GB、WinXP 操作系统的 Matlab 与 VC++ 混合实验平台下对玉米病害图像进行测试, 图像来自于不同光照下在实验田拍摄以及互联网上获取的玉米大斑病、小斑病和圆斑病图片, 图像格式为 400 像素 \times 600 像素、600 像素 \times 400 像素和 400 像素 \times 400 像素的 JPG 图像。

4.1 主要参数对分割结果的影响

采用图的方式进行分割时, 尺度参数 k 的取值直接影响到病斑的分割结果。图 3 为玉米病害样图, 图 3a、3b 为带有大田自然背景的玉米叶部病害

图像, 图 3c、3d 为病斑有复杂叶面纹理背景、光照不均的病害图像。图 4 为取不同尺度参数时玉米病害样图 3a 在 YCrCb 空间下图分割结果。从图中可见, 较大的 k 值对应于较大的分割区域, k 值越大, 图像中分割的区域数目越少, 分割的区域面积越大。

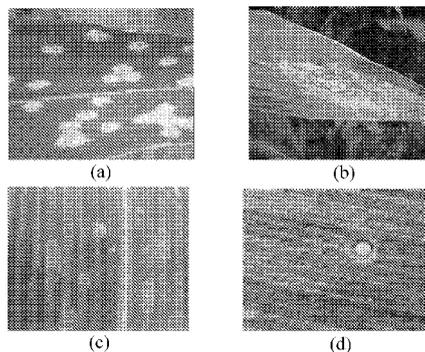


图 3 玉米病斑样图

Fig. 3 Samples of maize disease image

(a) 大田土壤背景 (b) 大田叶片背景
(c) 光照不均 (d) 复杂纹理

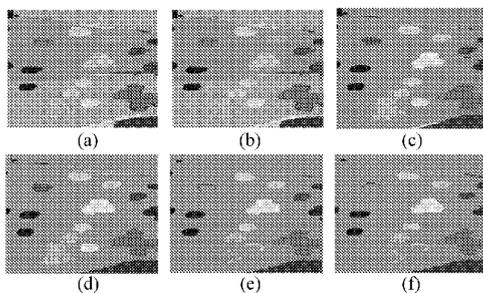


图 4 不同尺度参数时的图 3a 分割图

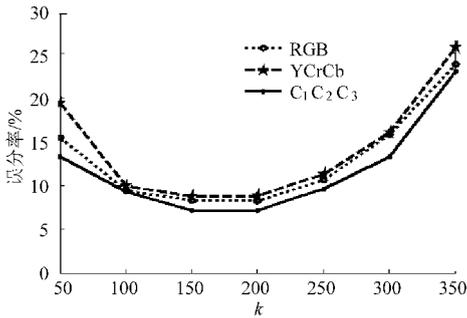
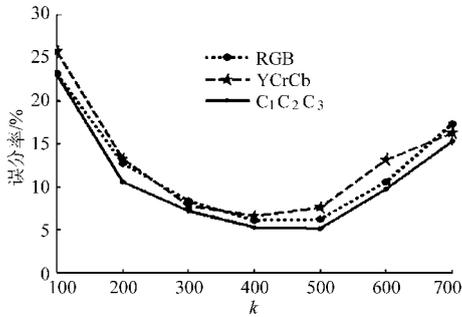
Fig. 4 Segment results of different parameters

(a) $k=100$ (b) $k=200$ (c) $k=300$
(d) $k=400$ (e) $k=500$ (f) $k=600$

为了研究 k 值对分割结果的影响, 把包含玉米病害的 50 幅图像的图库分为两部分, 一部分为包含较多农田背景区域的图像, 共 19 幅, 另一部分为病斑背景为叶片, 含有较少农田背景的图像, 共 31 幅。图 5 为 k 值随图库中 19 幅较多农田背景图像的误分率均值变化图, 图 6 为 k 值随图库中 31 幅背景主要为叶片的图像的误分率均值变化图。由图 5 可见, 对应于农田自然环境下的叶部病害图像, 背景复杂, 颜色分布不均, 分割的区域数目较多, 尺度参数 k 取值为 $[150, 200]$ 区间时, 分割效果较好。由图 6 可见, 对图像中农田背景区域较少, 或是仅有叶片背景以及实验室拍摄的简单颜色背景下的病害图像, k 取值 $[400, 500]$ 区间时, 分割效果较好。

4.2 不同方法对比结果分析

图 7 从左到右依次为图 3a ~ 3d 各玉米病害样图在不同方法下的分割结果。从分割结果上来看, 尽管在分割的特征上仅使用颜色特征, 基于图论的

图5 农田背景下 k 值对结果的影响图Fig. 5 Error rate of segment result by main parameter k under farmland background图6 叶片背景下 k 值对结果的影响图Fig. 6 Error rate of segment result by main parameter k under leaf background

分割效果仍然比较符合人眼的视觉习惯,在样图上均能在一定程度上分割出相应的病斑斑块,同时,在相同参数设置的不同颜色空间下,分割结果有一定的差异,尺度参数取值经实验测试,针对样图图 3a~3d, k 分别取 400、200、500、400,融合参数 p 分别取 3、3、2、2,融合窗口大小设置为 9 像素 \times 9 像素。

从与 Otsu 方法以及文献[8]方法的分割实验对比结果中可见, Otsu 方法的分割的准确率偏低,对于图 3a 中分割出的病斑包括叶部主支脉和部分背景,图 3b 中分割出叶片,但分割不出斑块,图 3c 和图 3d 中不能分割出斑块。由于作物病害图像叶片和病斑区域颜色本身就不均匀,灰阶范围常常出现重叠,且边界具有模糊性,用 Otsu 这种阈值固定的分割方法,分割的结果难以符合人眼的视觉习惯。文献[8]中的方法在光照均匀的图 3b 中取得了较好的效果,但是在有叶部纹理背景和光照的影响下的图 3c 和 3d 难以分割出斑块和叶部背景,而本文所提出的方法,综合分割的效果较理想。

为了验证本文所设计方法的有效性,分别在不同空间下与其他方法进行对比,共 50 幅玉米病害图像,采用误分率作为评价的标准,结果如表 1 所示。最后一行表示 50 幅玉米病害图库不同方法分割结

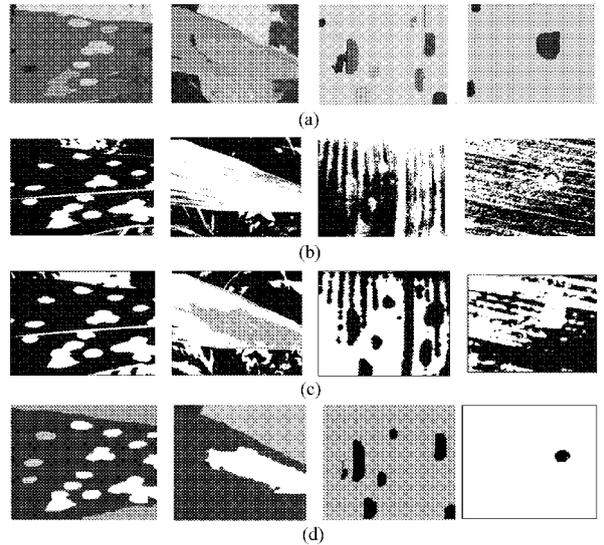


图7 不同空间下的玉米叶部病害分割结果

Fig. 7 Segment result under different spaces

(a) $C_1C_2C_3$ 算法 (b) Otsu 算法
(c) 文献[8]算法 (d) 本文算法

果的均值,从对比表中可见,采用所提出的方法是有效的,在有复杂农田背景和光照不均的影响下,所的结果明显高于单一空间的分割方式和其他方法。

表1 不同方法误分率

样图	RGB	YCrCb	$C_1C_2C_3$	Otsu	文献[8]	本文
3a	3.71	7.26	9.49	7.91	7.33	2.21
3b	10.53	7.35	6.13	99.32	4.69	4.59
3c	7.28	12.14	5.27	37.15	23.27	3.12
3d	1.16	1.35	2.11	34.19	24.76	0.25
平均	7.12	7.69	6.04	31.29	16.09	4.33

5 结论

(1) 采用图论进行玉米叶部病害分割,通过改进的图分割中的度量函数来设置区域内部和区域间的距离,逐步迭代进行病斑的分割,实验表明,在不同颜色空间下,基于图论的玉米叶部病害图像分割均是有效的。

(2) 在基于图论的玉米病害分割中,尺度参数的取值直接影响分割结果,通过分析,对于图像中有较多农田背景时,尺度参数取[150, 200],分割效果较好;在仅有叶片背景以及实验室拍摄的简单颜色背景下的病害图像,尺度参数取[400, 500],可取得较好的分割效果。

(3) 不同颜色空间中的分割结果在经过信息融合后,得到更加精确的分割结果,且提出的方法优于传统的作物病害分割方法,对环境的适应性更强。

参 考 文 献

- 1 冀荣华,祁力钧,傅泽田. 机器视觉技术在精细农业中的研究进展[J]. 农机化研究, 2007, 29(11): 1~5.
Ji Ronghua, Qi Lijun, Fu Zetian. Advance in precision agriculture based on the machine vision technology [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007, 29(11): 1~5. (in Chinese)
- 2 Al-Hiary H, Bani-Ahmad S, Reyalat M, et al. Fast and accurate detection and classification of plant diseases[J]. International Journal of Computer Applications, 2011, 17(3): 31~38.
- 3 Sanjay B Patil, Shrikant Dr, Bodhe K. Leaf disease severity measurement using image processing[J]. International Journal of Engineering and Technology, 2011, 3(5): 297~301.
- 4 赖军臣,李少昆,明博,等. 作物病害机器视觉诊断研究进展[J]. 中国农业科学, 2009, 42(4): 1215~1221.
Lai Junchen, Li Shaokun, Ming Bo, et al. Advances in research on computer-vision diagnosis of crop diseases [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(4): 1215~1221. (in Chinese)
- 5 崔艳丽,程鹏飞,董晓志,等. 温室植物病害的图像处理及特征值提取方法的研究——基于图像预处理特征值提取研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(12): 32~35.
Cui Yanli, Cheng Pengfei, Dong Xiaozhi, et al. Image processing and extracting color features of greenhouse diseased leaf [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(12): 32~35. (in Chinese)
- 6 林晓燕,刘文耀,陈晓冬,等. 杨树病害孢子的图像识别技术研究[J]. 仪器仪表学报, 2003, 24(4): 364~366.
Lin Xiaoyan, Liu Wenyao, Chen Xiaodong, et al. Spore image recognition of poplar disease [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2003, 24(4): 364~366. (in Chinese)
- 7 陈佳娟. 基于图像处理与人工智能的植物病害自动诊断技术的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2001.
Chen Jiajuan. Study on the automatic diagnosis technology of plant disease based on image process and artificial intelligence [D]. Changchun: Jilin University, 2001. (in Chinese)
- 8 毛罕平,张艳诚,胡波. 基于模糊C均值聚类的作物病害叶片图像分割方法研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(9): 136~140.
Mao Hanping, Zhang Yancheng, Hu Bo. Segmentation of crop disease leaf images using fuzzy C-means clustering algorithm [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(9): 136~140. (in Chinese)
- 9 岑喆鑫. 基于计算机视觉技术的黄瓜叶部病害自动诊断研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2008.
Cen Zhixin. Research on automatic diagnosis of cucumber leaf disease based on computer vision [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2008. (in Chinese)
- 10 赵玉霞,王克如,白中英,等. 基于图像识别的玉米叶部病害诊断研究[J]. 中国农业科学, 2007, 40(4): 698~703.
Zhao Yuxia, Wang Keru, Bai Zhongying, et al. Research of maize leaf disease identifying system based image recognition [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(4): 698~703. (in Chinese)
- 11 王守志,何东健,韩金玉. 基于并行点火PCNN的玉米病害彩色图像分割方法[J]. 农业机械学报, 2011, 42(11): 148~153.
Wang Shouzhi, He Dongjian, Han Jinyu. Color image segmentation method for corn diseases based on parallelized firing PCNN [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(11): 148~153. (in Chinese)
- 12 Tian Y, Lu M, Hampapur A. Robust and efficient foreground analysis for real-time video surveillance [C] // 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, DC, USA, IEEE Press, 2005, 1: 1182~1187
- 13 许新征,丁世伟,史忠植,等. 图像分割的新理论和新方法[J]. 电子学报, 2010, 38(增刊1): 76~82.
Xu Xinzheng, Ding Shifei, Shi Zhongzhi, et al. New theories and methods of image segmentation [J]. Acta electronica Sinica, 2010, 38(Supp. 1): 76~82. (in Chinese)
- 14 王学松,周明全,樊亚春,等. 彩色图像色度距离权值的图论分割算法[J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(2): 221~226.
Wang Xuesong, Zhou Mingquan, Fan Yachun, et al. The algorithm of graph cut using HSI weights in color image segmentation [J]. Journal of Image and Graphics, 2011, 16(2): 221~226. (in Chinese)
- 15 Max Mignotte. A de-texturing and spatially constrained K-means approach for image segmentation [J]. Pattern Recognition Letters, 2011, 32(2): 359~367.
- 16 钟志光. 一种适用于人脸检测具有强聚类能力的新颜色空间YCH[J]. 模式识别与人工智能, 2011, 24(4): 502~505.
Zhong Zhiguang. A new color space YCH with strong clustering power for face detection [J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2011, 24(4): 502~505. (in Chinese)