

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.10.039

基于机器视觉的甘蔗茎节特征提取与识别

陆尚平¹ 文友先¹ 葛维² 彭辉¹

(1. 华中农业大学工程技术学院, 武汉 430070; 2. 广西农业厅市场与经济信息处, 南宁 530022)

【摘要】 为实现含有蔗芽的有效蔗种片段机器智能切断,引入机器视觉技术识别甘蔗茎节。以甘蔗图像 HSV 颜色空间的 S 分量经阈值分割、数学形态滤波处理作为模板,和 H 分量经阈值分割的反图像进行与运算得到合成图;将合成图划分为 64 个列块区域,提取质心比、粗度比和白点比等 7 个特征指标,再用支持向量机分类识别茎节与节间列块,得到茎节与节间的平均识别率为 93.359%;对支持向量机分类出的茎节列块进行聚类分析,得到茎节数与位置的平均识别率分别为 94.118%、91.522%。

关键词: 甘蔗茎节 识别 机器视觉 支持向量机 聚类
中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)10-0190-05

Recognition and Features Extraction of Sugarcane Nodes Based on Machine Vision

Lu Shangping¹ Wen Youxian¹ Ge Wei² Peng Hui¹

(1. College of Engineering and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China 2. Market and Economic Information Department, Department of Agriculture of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530022, China)

Abstract

To achieve machine intelligence cutting of effective sugarcane kinds of fragments with sugarcane bud, machine vision was introduced to identify sugarcane nodes. Through acquiring the S component of HSV color space by threshold, mathematical morphology filtering as template and the anti-phase image of the H -component by threshold was added to get synthesized image. Synthetic image was divided into 64 regions and obtained seven characteristic indicators, such as centroid ratio, roughness ratio and white point ratio, and so on. Then support vector machine was introduced to identify sugarcane nodes and sugarcane internodes. The average recognition rate of sugarcane nodes between internodes was 93.359%. Clustering analysis was introduced to identify sugarcane nodes blocks which were got by support vector machine (SVM) classification. The average recognition rates of the sugarcane numbers and the sugarcane nodes position were 94.118% and 91.522% respectively.

Key words Sugarcane nodes, Recognition, Machine vision, Support vector machine, Clustering

引言

蔗种处理中需要将整根的甘蔗切断成包含 1~3 个蔗芽的有效蔗种片段。目前以人工切断和甘蔗联合种植机的定长切断为主。为提高效率,降低劳动强度和实现甘蔗种植的精细化,需要研制可识别

茎节和节间的智能切断装置,而其中最关键的是识别甘蔗茎节。目前国内在此领域的研究还属于空白。相近研究有刘庆庭等利用高速摄像分析刀片切割甘蔗茎秆破坏过程^[1];国外,仅伊朗 Moshashai K 利用灰度图像阈值分割的方法对甘蔗茎节识别做了初步研究^[2],也还处于初始阶段。本文采用机器视

收稿日期: 2009-12-11 修回日期: 2010-03-08
作者简介: 陆尚平, 博士生, 主要从事智能检测与机电一体化技术研究, E-mail: lujunyu20@163.com
通讯作者: 文友先, 教授, 博士生导师, 主要从事机器视觉与机电一体化技术研究, E-mail: wenyouxian@mail.hzau.edu.cn

觉的方法,先经支持向量机 SVM (support vector machine) 方法对茎节与节间分类,再对识别出的茎节类进行聚类识别,获得茎节数与茎节位置。

1 图像获取

在试验台上采用 SONY-T77 型数码相机拍摄红色背景的单根甘蔗彩色图像(图 1),图像大小为 640×480 像素, JPG 格式。处理软件采用 VC++ 6.0 和 Matlab 7.0。试验样品为广西省迁江甘蔗优质生产基地主产的新台糖 26 号,拍摄前先将甘蔗叶剥净,相机镜头与工作台垂直,距离工作台 30 cm。

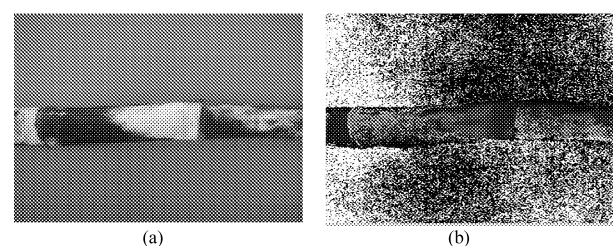


图 1 原始甘蔗图像和 H 分量图

Fig. 1 Original image of sugarcane and H component image

(a) 原始图像 (b) H 分量图

2 图像基本处理

图像中甘蔗表面颜色从黑到白过渡,占据整个灰度级,采用 RGB 颜色空间难以分割出理想的甘蔗轮廓,各分量空间的相关性也难以体现出茎节与节间特征差异。在经过大量的试验对比后,发现采用红色背景的 HSV 空间能有效地将背景与甘蔗区分。

2.1 基于 HSV 的彩色空间

HSV 空间比较直观且符合人的视觉特性, H 、 S 、 V 表示色调、饱和度和亮度。从 HSV 颜色空间的 H 分量图(图 1)可以看到甘蔗与背景区域的灰度在空间上分散,茎节与节间的色调有明显差异,可作为茎节与节间的识别依据;从 S 分量(图 2)中可以看到甘蔗轮廓清晰,背景区域灰度均匀,其灰度直方图显示双峰性,有利于甘蔗轮廓提取。

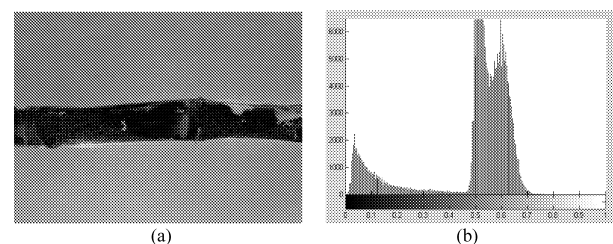


图 2 S 分量图和直方图

Fig. 2 S component image and S component histogram

(a) S 分量图 (b) S 分量直方图

2.2 阈值分割

H 分量可以体现出甘蔗茎节的细节特征, S 分

量体现甘蔗的轮廓特征。选择合适的阈值分割可以得到理想的甘蔗轮廓和表征甘蔗茎节与节间差异的二值图;在 S 、 H 阈值选择方法上,分别对 Otsu^[3-4] 与人工选择阈值做了比较试验,发现 Otsu 自动分割不能有效消除背景噪声,存在大面积的反光现象。而在工作台控制条件下, S 分量的直方图波谷出现在 0.45 ~ 0.55 之间,在这之间设置阈值可以得到理想的甘蔗边界轮廓图;在 0.4 ~ 0.6 范围内以 0.1 间隔区域统计灰度级点数,以 0.1 范围内最少灰度级点数对应的灰度值作为 S 分量的分割阈值。研究发现 H 分量直方图中绝大部分的像素点在灰度级 0 ~ 0.05 和 0.95 ~ 1 之间,在区间 0.85 ~ 0.15 之间设置阈值,可以有效得到茎节特征。本文采用 0.12 作为 H 分量的分割阈值。

2.3 图像合成

经阈值分割得到的 S 分量二值图像仍有可能存在背景区域的孤立噪声;采用 3×3 结构模板对 S 分量二值图像作形态学闭运算以消除噪声;将 S 分量经噪声消除后得到的二值图像与 H 分量得到的二值图像分别求反后再作与运算得到合成图(图 3)。

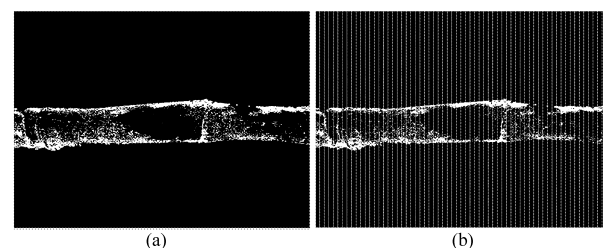


图 3 合成图和区域划分

Fig. 3 Synthetic image and zoning

(a) 合成图 (b) 合成图划分 64 列块结果

3 特征提取

由合成图可知,茎节处的白点数分散相对均匀,茎节区域的白点数密集,直径比较大;基于以上先验知识,将合成图按列划分为 64 个列块区域(图 3)。设图像集合为 $X(i, j)$;图像的上边缘为 $p_t = (x_t, y_t)$,下边缘为 $p_b = (x_b, y_b)$,第 k 列块粗度

$$C_k = \frac{1}{10} \sum_{i=10(k-1)}^{10k} (y_{bi} - y_{ti}) \quad (1)$$

第 k 列块最高点 $T_k = \min(p_{tk})$

第 k 列块最低点 $B_k = \max(p_{bk})$

第 k 列块的白点数

$$N_k = \sum_{j=T_k}^{B_k} \sum_{i=10(k-1)}^{10k} X(i, j) \quad (2)$$

各个列块的白点数与 64 列块的最多白点数之比为白点比,其计算公式为

$$W_k = \frac{N_k}{\max(N_k)} \tag{3}$$

64 列块中各个列块的粗度(即直径)与最大粗度之比为粗度比,其计算公式为

$$S_k = \frac{C_k}{\max(C_k)} \tag{4}$$

第 k 列块的质心

$$U_k = \frac{\sum_{i=10(k-1)}^{10k} \sum_{j=T_k}^{B_k} jX(i,j)}{N_k}$$
$$V_k = \frac{\sum_{i=10(k-1)}^{10k} \sum_{j=T_k}^{B_k} iX(i,j)}{N_k}$$

关心的是纵坐标上的质心位置,质心比

$$G_k = \frac{\min(\text{abs}(V_k - B_k), \text{abs}(V_k - T_k))}{\max(\text{abs}(V_k - B_k), \text{abs}(V_k - T_k))} \tag{5}$$

将第 k 列块再划分 8 个等行块;即整个甘蔗区域划分为 64×8 个网格;第 k 列块的行块高度为

$$H_k = \text{floor}\left(\frac{B_k - T_k}{8}\right) \tag{6}$$

第 k 列块的第 f 行块的白点数为

$$R_{kf} = \sum_{i=10(k-1)}^{10k} \sum_{j=(f-1)H_k+T_k}^{fH_k} X(i,j) \tag{7}$$

由各列块的上边界与下边界将各个列块划分 8 个等行块,中心 4 行块的白点数之和与其所在列的白点总数之比为 1/2 中区比,其计算公式为

$$I_k = \frac{\sum_{f=3}^6 R_{kf}}{W_k} \tag{8}$$

中心 2 行块的白点数和与所在列的白点总数之比为 1/4 中区比,其计算公式为

$$O_k = \frac{\sum_{f=4}^5 R_{kf}}{W_k} \tag{9}$$

最上、最下连续 5 个行块的两个区域最多白点数之和与所在列块的白点总数之比为 5/8 偏区比,其计算公式为

$$M_k = \frac{\max\left(\sum_{f=1}^5 R_{kf}, \sum_{f=4}^8 R_{kf}\right)}{W_k} \tag{10}$$

各个列块粗度与其左右两侧 5 列块距离处两列块粗度和的平均之比为位粗比,其计算公式为

$$Y_k = \begin{cases} \frac{2C_k}{C_{k-5} + C_{k+5}} & (k \in [6, 59]) \\ \frac{2C_k}{C_1 + C_{k+5}} & (k \in [1, 5]) \\ \frac{2C_k}{C_{k-5} + C_{64}} & (k \in [60, 64]) \end{cases} \tag{11}$$

4 SVM 识别茎节与节间列块

4.1 SVM 识别算法

SVM 是一种新的模式识别方法,它兼顾训练误差和泛化能力,在解决小样本、非线性、高维数、局部极小值等模式识别问题中表现出许多特有的优势^[5-7],在两类模式识别问题中,给定训练资料 $\{(x_i, y_i); x_i \in \mathbf{R}^N; y_i = \pm 1; i = 1, 2, \dots, l\}$,支持向量机是指由 $f(x)$ 确定的分类规则

$$f(x) = \text{sgn}\left(\sum_{i=1}^n \alpha_i K(x_i, x) + b\right)$$

式中 x_i ——训练样本
 x ——待判决样本 b ——门限
对优化问题

$$\begin{cases} \min_{\omega, \xi} \frac{1}{2}(\omega, \omega) + C \sum_{i=1}^l \xi & (C \geq 0) \\ y_i[(\omega, x) + b] \geq 1 - \xi & (\xi \geq 0) \end{cases}$$

应用 Lagrange 乘子法得到的 Wolfe 对偶优化问题的最优解

$$\max_a \sum_{i=1}^l \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^l \alpha_i \alpha_j y_i y_j K(x_i, x_j) \quad (0 \leq \alpha_i \leq C)$$

式中 $K(\cdot)$ 为满足 Mercer 条件的核函数。常用的核函数有^[5-6]:线性核函数、多项式核函数、径向基核函数、Sigmoid 核函数。

4.2 SVM 试验结果与分析

从采集的图像中抽取 70 幅甘蔗图片,50 幅作为训练集,20 幅用于预测检验。经过基本图像处理,提取 50 幅图像,每幅 64 列块,共 3 200 个样本,计算各样本的 7 个特征指标;经过人工识别的方法,划分 3 200 个样本的类别属性。统计中发现由于在一幅图像中节间类与茎节类的列块比例达到 10:1,存在数据集偏斜,即建立的模型在分类判别上倾向于节间类,需要抽取类间比例相当的训练样本来训练模型,故从 3 200 个样本中再抽取全部的茎节类样本和部分节间类样本共 800 个来建立分类模型;在 SVM 中经过交叉试验设置 $C = 20, G = 0.01$ 。选择不同的核函数得到茎节类与节间类的分类结果如表 1(列出了前 5 图)所示。径向基、Sigmoid、多项式和线性核这 4 种函数的平均茎节识别率依次为:93.359%、93.203%、92.578%、93.272%。径向基表现出稍好的识别率,达 93.359%。

5 聚类识别茎节数和位置

由 SVM 分类得到的列块判别柱状分布图(图 4)可知:识别出的茎节列块不唯一,这和茎节有一定的宽度相符合,甘蔗茎节识别的目的在于给控制器

表 1 甘蔗茎节识别结果

Tab.1 Recognition results of sugarcane nodes

测试图号	识别茎节数	实际茎节数	1 节位置识别率/%	2 节位置识别率/%	径向基识别率/%	Sigmoid 识别率/%	多项式识别率/%	线性识别率/%
1	2	2	99.320	91.610	92.188	92.188	92.188	89.063
2	2	2	99.130	89.783	81.250	81.250	90.625	81.250
3	1	1	100		100	100	93.750	98.438
4	2	2	73.990	99.495	96.875	90.625	92.188	95.133
5	2	2	91.646	92.629	89.063	92.188	90.625	92.188

控制的切断刀具找到切割位置,用图片中甘蔗茎节数识别率和茎节位置识别率来表达。

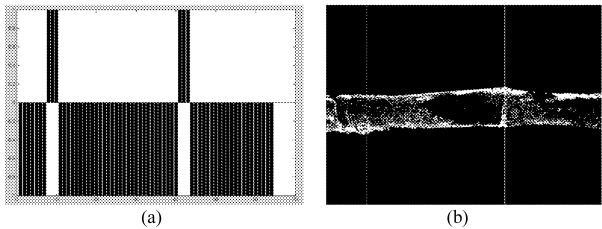


图 4 SVM 分类图和合成图茎节标记线

Fig.4 SVM classification map and tag line of synthesis

(a) SVM 分类图 (b) 合成图茎节标记线

茎节数识别率定义为从图像中经算法识别出的茎节数与图中实际茎节数的百分比。为表征茎节位置识别率,引入切正率概念,以刀具位置落入节间中心位置时切正率表示为 100%,刀具落入茎节中心位置时切正率为 0,茎节位置识别率为 1 减去切正率。从 SVM 得到的分类图(图 4a)可以大致看出茎节数和位置,采用聚类的方法可寻找茎节区域。从茎节宽度与节间宽度统计(图 5)可知茎节的宽度为 20 至 50 像素,节间宽度为 200 至 550 像素,采用最短距离法对茎节类聚类分析。

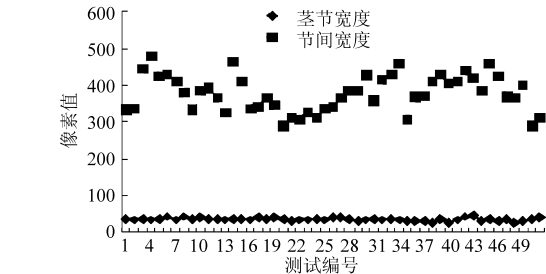


图 5 茎节宽度与节间宽度统计图

Fig.5 Statistical graph of sugarcane nodes width and internodes width

5.1 最短距离聚类

最短距离法^[8]认为:只要两类的最小距离小于阈值,就将两类合并为一类,定义 $D_{i,j}$ 为 ω_i 类中所有样本间的最小距离,即

$$D_{i,j} = \min \{ d_{UV} \}$$

其中 d_{UV} 为 ω_i 类中样品 U 类与 ω_j 类中样品 V 之间的距离。若 ω_j 类是由 ω_m 、 ω_n 两类合并而成,则

$$D_{i,m} = \min \{ d_{UA} \} \quad (U \in \omega_i \text{ 类}, A \in \omega_m \text{ 类})$$
$$D_{i,n} = \min \{ d_{UB} \} \quad (U \in \omega_i \text{ 类}, B \in \omega_n \text{ 类})$$

递推可得 $D_{i,j} = \min \{ D_{i,m}, D_{i,n} \}$

实现步骤:

- (1)获得 SVM 识别出的茎节类(柱状图为 1 的列块),计算茎节类列块的数量 N_m ,以茎节类列块之间的位置距离为特征参数。
- (2)设置聚类的最小距离阈值 T 为 20(列块距离)。
- (3)将所有茎节列块各分一类,聚类中心数为 N_m 。
- (4)对所有茎节列块循环,找到最近的两列块 p_i 、 p_j ,设距离为 D_{is} ;若 $D_{is} \leq T$ 则合并 p_i 、 p_j ,将类号大的归入到类号小的类中,否则, $D_{is} \geq T$,退出循环;得到的类数即为茎节数。

由以上分类出的茎节类一般为一个区域,采用重心法找到茎节的中心位置,对每个茎节聚类区域求茎节中心列块位置

$$X = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n p_i \tag{12}$$

p_i 为属于同一个茎节的列块位置值;得到的列 X 为 10 个像素,对其修正获得茎节

$$X_{\text{biao}} = 10(X - 1) + 5 \tag{13}$$

标注茎节线的合成图如图 4b 所示。

5.2 聚类试验结果与分析

对 20 幅经 SVM 识别得到的茎节类列块做聚类;20 幅图中经聚类算法得到 34 个茎节,误判 2 个;平均茎节数识别率为 94.118%。对标注茎节线后的图像进行位置识别,茎节平均位置识别率为 91.552%,最差位置识别率为 73.990%;识别结果如表 1(列出前 5 图)所示。位置识别率的高低取决于茎节类列块的分散程度,与茎节列块的识别率不是正相关。

6 结论

- (1)甘蔗茎节表面纹理不连续,茎节与节间灰度值相互交叉渗透,无法直接分割茎节区域,HSV 颜色空间的 H 分量可以体现茎节与节间的特征。

(2)采用基于直方图波谷设置阈值的方法比 Otsu 法能更有效消除背景噪声和分割甘蔗对象区域。

(3)采用 SVM 对合成图各列块识别,茎节类与茎间类的平均识别率达 93.359%,对茎节列块聚类

识别得到茎节数平均识别率达 94.118%,位置平均识别率达 91.552%,单幅图像的算法执行时间为 0.760 s。为后续机器智能切断种蔗提供了理论基础。

参 考 文 献

- 1 刘庆庭,区颖刚,卿上乐,等. 光刃刀片切割甘蔗茎秆破坏过程高速摄像分析[J]. 农业机械学报,2007,38(10):31~35.
Liu Qingting, Ou Yinggang, Qing Shangle, et al. High-speed photography analysis on the damage process in cutting sugarcane stalk with smooth-edge blade[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(10):31~35. (in Chinese)
- 2 Moshashai K, Almasi M, Minaei S, et al. Identification of sugarcane nodes using image processing and machine vision technology[J]. International Journal of Agricultural Research, 2008,3(5):357~364.
- 3 毛罕平,胡波,张艳诚,等. 杂草识别中颜色特征和阈值分割算法的优化[J]. 农业工程学报, 2007,23(9):154~158.
Mao Hanping, Hu Bo, Zhang Yancheng, et al. Optimization of color index and threshold segmentation in weed recognition [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007,23(9):154~158. (in Chinese)
- 4 肖超云,朱伟兴. 基于 Otsu 准则及图像熵的阈值分割算法[J]. 计算机工程, 2007,33(14):188~189,209.
Xiao Chaoyun, Zhu Weixing. Threshold selection algorithm for image segmentation based on Otsu rule and image entropy[J]. Computer Engineering, 2007,33(14):188~189,209. (in Chinese)
- 5 Burges C J C. A tutorial on support vector machines for pattern recognition[J]. Data Mining and Knowledge Discovery, 1998, 2(2):121~169.
- 6 Steve R Gunn. Support vector machines for classification and regression[R]. Technical Report, Southampton: University of Southampton, 1998:1~28.
- 7 刘向东,朱美琳,陈兆乾,等. 支持向量机及其在模式识别中的应用[J]. 计算机科学, 2003,30(6):113~117.
Liu Xiangdong, Zhu Meilin, Chen Zhaoqian, et al. Support vector machine and its application to pattern recognition[J]. Computer Science, 2003,30(6):113~117. (in Chinese)
- 8 边肇祺,张学工. 模式识别[M]. 北京:清华大学出版社,2002:284~304.

欢迎订阅 2011 年《中国农业科学》中、英文版

《中国农业科学》中、英文版由农业部主管、中国农业科学院主办。主要刊登农牧业基础科学和应用基础科学研究论文、综述、简报等。设有作物遗传育种;耕作栽培·生理生化;植物保护;土壤肥料·节水灌溉·农业生态环境;园艺;园林;贮藏·保鲜·加工;畜牧·兽医等栏目。读者对象是国内外农业科研院(所)、农业大专院校的科研、教学人员。

《中国农业科学》中文版大 16 开,每月 1、16 日出版,国内外公开发行人。每期 224 页,定价 49.50 元,全年定价 1188.00 元,国内统一刊号:CN11-1328/S,国际标准刊号:ISSN0578-1752,邮发代号:2-138,国外代号:BM43。

《中国农业科学》英文版大 16 开,每月 20 日出版,国内外公开发行人。每期 160 页,国内订价 36.00 元,全年 432.00 元,国内统一刊号:CN11-4720/S,国际标准刊号:ISSN1671-2927,邮发代号:2-851,国外代号:1591M。

邮编:100081;地址:北京 中关村南大街 12 号《中国农业科学》编辑部

电话:010-82109808,82106279,82106283,82106282,传真:010-82106247

网址:www.ChinaAgriSci.com E-mail:zgnykx@mail.caas.net.cn