

冯运发,王新彦,余银海,等.基于 HALCON 软件与 HSV 模型的树木检测算法研究[J].江苏农业科学,2019,47(6):188-192.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.06.042

# 基于 HALCON 软件与 HSV 模型的树木检测算法研究

冯运发,王新彦,余银海,叶 烨,张 权

(江苏科技大学机械学院 江苏镇江 212000)

**摘要:**针对半自动液控变割幅坐骑式割草机在工作时,操作人员不能准确目测前方树木的间距而无法确定当前割草机的割幅的情况,提出了 1 种基于 HALCON 软件及 HSV [H 表示色调(hue),S 表示饱和度(saturation),V 表示明度(value)]颜色空间的树木检测算法。利用 HALCON 算子将原 RGB [R 表示红色(red),G 表示绿色(green),B 表示蓝色(blue)]图像转换到 HSV 空间后,分析 H 和 S 分量的灰度直方图,对其进行对比度增强处理,并运用动态阈值法分别分割出大体目标区域并求出交集,再依次运用连通域处理、形态学操作、目标区域提取、矩形度过滤等后续处理,提取出树木的完整轮廓。最后运用 MER(最小外接矩形)算法生成树木轮廓的最小外接矩形,为后续的树木间距测量等工作奠定基础。

**关键词:**HALCON; HSV 模型; 树木检测; 动态阈值分割; 割草机; 机器视觉

**中图分类号:**TP391.4; S126 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)06-0188-05

随着乳品业的迅猛发展及高尔夫球、网球、足球等运动的兴起,我国的牧草产业及草坪的需求量正在迅速发展。目前较流行的大型割草机械是割草机,包括坐骑式、拖拉机悬挂式等。但是割幅一般是固定不变的,当在长有树木或者有其他障碍物的草坪上进行除草作业时,宽割幅的割草机由于两树间距较小就难以彻底地完成任务。

江苏科技大学的王新彦教授等发明了 1 种半自动液控变割幅坐骑式割草机,实现了从 1.2 m 到 2.3 m 的无极变割幅<sup>[1]</sup>。但是该机器需要驾驶员通过目测判断前方树木或其他障碍物之间的距离,再决定是否按下控制按钮改变割幅,这样容易出现误判导致割草机撞到树木或者出现漏割的现象。

随着科技的发展及视觉应用的不断推广,越来越多的农林业机械应用了机器视觉系统。机器视觉是一门综合性很强的学科,它包括图像处理、机械工程技术、控制、信号处理、光学、计算机软硬件技术等。机器视觉的概念起始于 20 世纪 50 年代,最先的应用来自“机器人”的研制<sup>[2]</sup>。其主要工作方式是通过工业相机[分为互补金属氧化物半导体(complementary metal oxide semiconductor,简称 CMOS)和电荷耦合器件(charge coupled device,简称 CCD)相机]采集的图像信号,传送给专用的图像处理系统,得到图像的形态信息,根据饱和度、亮度和颜色等信息,转变成数字化信号,图像系统通过各种算法实现目标特征的提取。利用机器视觉检测树木等障碍物已经有很多人进行了研究,有研究者提出了基于颜色和纹理的算法,可以得到比较理想的结果,但是运行时间过长,不能满足实时检测的目的<sup>[3]</sup>;有研究者提出了利用三

目立体视觉场景分割方法,可以在静态或动态的场景进行分割,其缺点是培训时间比较长,实时性较差<sup>[4]</sup>;有研究者提出了 1 种障碍物检测系统,利用立体匹配生成 1 个点云在图像中的区域,地面检测用于确定点云中哪些点是障碍物,其缺点是如果障碍物的颜色与地面相近时,就很难检测出障碍物<sup>[5]</sup>;有研究者提出了 1 种利用光谱分析及纹理提取实时检测静态和动态障碍物的方法,但是其算法复杂且当车辆在运动时识别率比较低<sup>[6]</sup>。本研究基于 HALCON 软件与 HSV [H 表示色调(hue),S 表示饱和度(saturation),V 表示明度(value)]颜色空间提出了 1 种实时检测树木的方法,为半自动液控变割幅坐骑式割草机实现全自动变割幅奠定了基础。

## 1 HALCON 介绍

德国 MVtec 公司开发的 HALCON 软件是一套完善的标准机器视觉算法包,并拥有独特的开发环境,开发周期短。该软件拥有超过 1 500 个各自独立且功能强大的算子,还包含 Blob 分析、形态学、模式识别、测量、相机标定、三维重建等性能杰出的图像算法,以及图像采集、测量助手、I/O(输入/输出)通信等工具。HALCON 软件可以在当今所有主流的操作系统中运行,并可以与 C、C++、C#、VB 和 Labview 等编程语言进行联合编程,软件本身具有很高的鲁棒性<sup>[7-8]</sup>。

## 2 图像采集

由于 CMOS 相机集成度比较高且比 CCD 相机便宜很多,所以本研究用来采集图像的摄像机选择彩色 CMOS 工业相机,型号为 DH-HV2051UC-ML,镜头为 8 mm 固定焦距。在采集相片时,只需要提取树干的底部部分就可以满足要求,所以为了避免背景太过复杂,影响后期的图像分割,设置相机距地面高度 1 m,向下倾角 10°。为了提高图像处理和识别树木的速度,将摄像机采集到的图像分辨率调整为 640×480 像素。在 HALCON 软件里读取图片过程如下:

收稿日期:2017-10-31

基金项目:国家自然科学基金面上项目(编号:51275223)。

作者简介:冯运发(1988—),男,河南商丘人,硕士研究生,助理工程师,主要从事图像识别、自动化控制方面的研究。E-mail: fengyunfa001@163.com。

```
dev_close_window( )
read_image ( Image , C: /Users/fyf/Desktop/图片/树木.
jpg)
dev_open_window ( 0 , 0 , 640 , 480 , ' black ' ,
WindowHandle)
```

上述程序的思路是首先利用 `read_image` 算子读取目标图片,然后打开 1 个窗口,图片的像素大小是  $640 \times 480$ ,最后显示图片。

### 3 图像分割

### 3.1 颜色空间转换

由于在室外环境较为复杂,不同的天气、光照情况都会影响采集图像的质量,从而影响处理效果。并且彩色图像占用内存较大,直接处理彩色图像不仅增加了硬件设备的投入成本,同时降低了图像处理的速度,所以要将图片从 RGB[R 表示红色( red ),G 表示绿色( green ),B 表示蓝色( blue )]颜色空间转化到其他颜色空间中。

3.1.1 HSV 颜色空间介绍 颜色空间也称彩色模型或彩色空间,其主要用途是在一些标准下用通俗易懂的方式对彩色进行说明。颜色空间有很多种,比较常用的有 RGB、CMY [C 表示青色 (cyan), M 表示品红 (magenta), Y 表示黄色 (yellow)], HSV、HSI [H 表示色调 (hue), S 表示饱和度 (saturation), I 表示亮度 (intensity)] 等。由于 HSV 颜色空间的 3 个分量具有相对独立性,而 H 和 S 分量受光照及阴影遮挡的影响很小,所以选取 HSV 颜色空间对目标进行识别<sup>[9]</sup>。HSV 是根据颜色的直观特性由 Smith 在 1978 年创建的一种颜色空间<sup>[10]</sup>。这个颜色空间中的参数分别如下:色调 (H), 饱和度 (S), 亮度 (V)。如图 1 所示,可以了解到:色调 H 表示色彩信息,用角度度量,绕 V 轴旋转 360°构成 1 个圆,红、绿、蓝分别相隔 120°。饱和度 S 是一个比例值,取值范围从 0 到 1。当 S=0 时,表现为无色, S 值沿着水平方向不断变化。亮度值 V 表示色彩的明亮程度,范围从 0 到 1。当 V=0 时表现为黑色,当 V=1 时表现为白色。

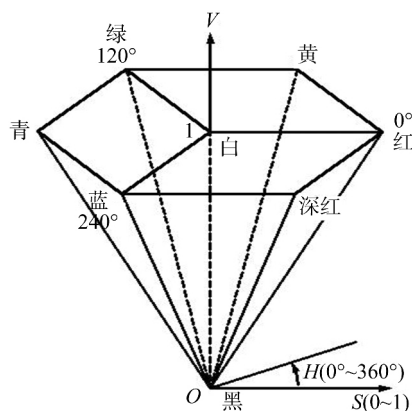


图1 HSV 六面椎体模型

### 3.1.2 从 RGB 到 HSV 的转换

从 RGB 到 HSV 的转换公式如下所示:

$$v = \max; \quad (1)$$

$$h = \begin{cases} 0^\circ & \max = \min \\ 60^\circ \times \frac{g-b}{\max-\min} + 0^\circ & \max = r \quad g \geq b \\ 60^\circ \times \frac{g-b}{\max-\min} + 360^\circ & \max = r \quad g < b; \\ 60^\circ \times \frac{b-r}{\max-\min} + 120^\circ & \max = g \\ 60^\circ \times \frac{r-g}{\max-\min} + 240^\circ & \max = b \\ \begin{cases} 0 & \max = 0 \\ \frac{\max-\min}{\max} = 1 - \frac{\min}{\max} & \text{otherwise} \end{cases} & \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $r$ 、 $g$ 、 $b$  分别是 1 个颜色的红、绿和蓝坐标, 它们的值是在 0 到 1 之间的实数, 如图 2 所示。假设  $\max$  是  $r$ 、 $g$  和  $b$  中的最大者,  $\min$  等于这些值中的最小者。而  $h \in [0, 360]$  是角度的色相角,  $s, v \in [0, 1]$  分别代表饱和度和亮度<sup>[11]</sup>。

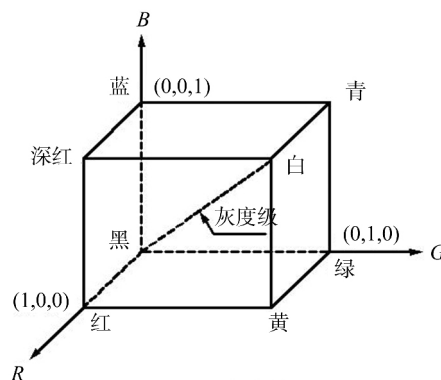


图2 RGB 颜色模型

在 HALCON 软件里首先要将 1 个三通道的 RGB 图像转换为 3 个单通道的图像格式,分别代表 Red、Green、Blue。然后再将 R、G、B 这 3 个图像转换到 HSV 颜色空间中。主要过程为:

```
decompose3 ( Image ,Red ,Green ,Blue)
trans_from_rgb ( Red ,Green ,Blue ,Hue ,Saturation ,Value ,
v' )
```

结果如图 3 所示,可以看出图 3-b 与图 3-d 中草地部分灰度值更低,而图 3-c 中草地灰度值更大一些。从图 4 可以看出  $H$ 、 $S$ 、 $V$  分量的区别:  $H$  分量图中树干与草地的灰度值差异明显,  $S$  分量图中树干与草地的灰度值也有较明显的差别,而  $V$  分量图中树干与草地无明显的区分界限。为了更直观地研究问题,画出了直方图 5,可以看出  $H$  分量图具有比较明显的 2 个波峰与 1 个波谷,呈双峰分布;  $S$  分量灰度值呈单峰分布,也易于分割出树干,故只需对  $H$  分量及  $S$  分量进行更深入的分析。

### 3.2 图像增强

图像增强是根据特定的需要突出一副图像中的某些信息,同时削弱或去除某些不需要的信息的处理方法<sup>[12]</sup>。本研究运用到图像增强中的灰度变换增强算法,为后面的阈值分割做好预处理。最重要的灰度值变换就是灰度值线性缩放,公式如下:

$$f(g) = ag + b. \quad (4)$$

若  $f(g)$  的值域范围是  $R$ , 如果  $g \in R$ , 那么输出的灰度值

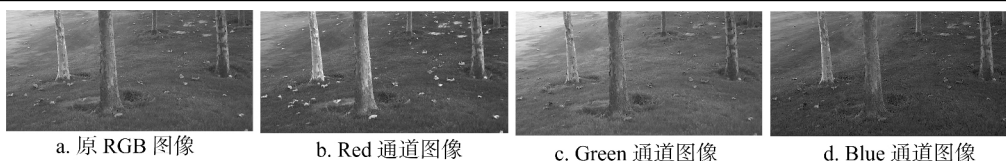


图3 RGB 图像转换为单通道的结果

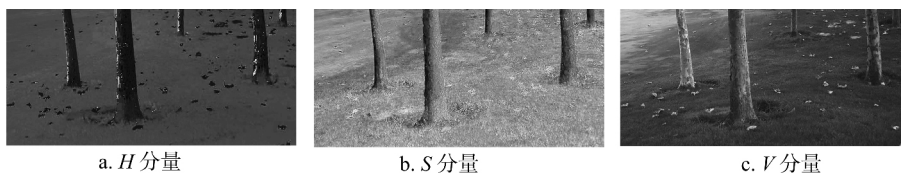
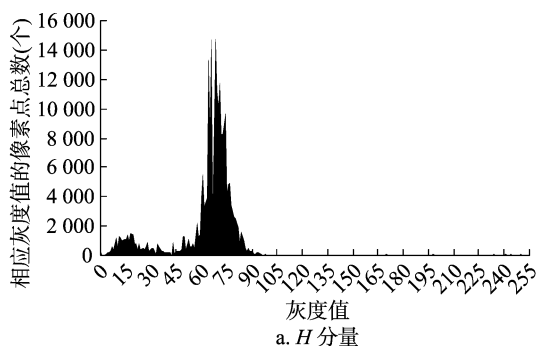
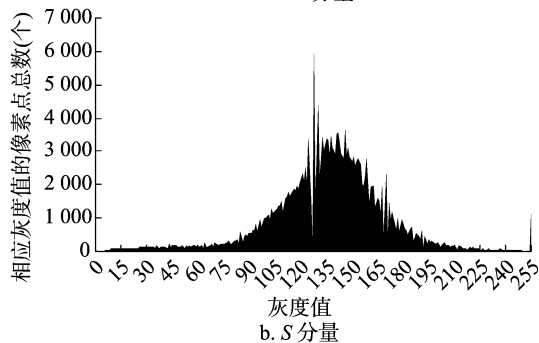


图4 HSV 颜色空间分量



a. H 分量



b. S 分量

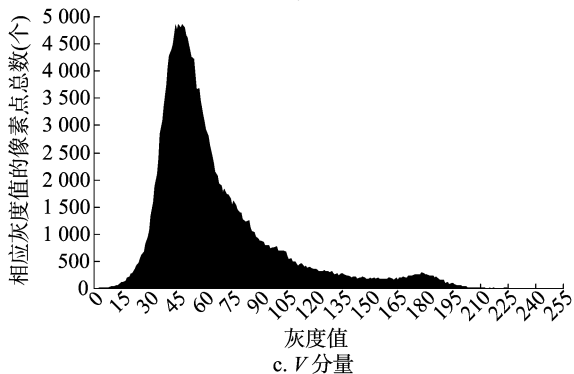


图5 H、S、V 分量直方图

也必须在  $R$  内。所以笔者需要对输出的灰度值进行四舍五入处理。

$$f(g) = \min(\max([ag + b + 0.5] \rho), (2^b - 1)) \quad (5)$$

式中: 当  $|a| > 1$  时, 对比度增加; 当  $|a| < 1$  时, 对比度降低; 当  $a < 0$  时, 灰度值反转。当  $b > 0$  时, 亮度值增加; 当  $b < 0$  时, 亮度值降低<sup>[13]</sup>。图像对比度增强后的效果如图 6 所示, 对比图 6-b 与图 5-a 可以看出, 图 6-b 更加平滑, 波峰与波谷表现更加明显, 灰度值较小的波峰对应的是树木, 灰度值较大

的波峰对应的是背景。

### 3.3 基于局部统计的可变阈值处理方法

最简单的分割算法就是图像的阈值分割法<sup>[14]</sup>, 阈值处理后的图像  $g(x, y)$  被定义为:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) > T_{xy} \\ 0 & f(x, y) \leq T_{xy} \end{cases} \quad (6)$$

式中:  $T_{xy}$  表示输入阈值;  $f(x, y)$  表示原图像。

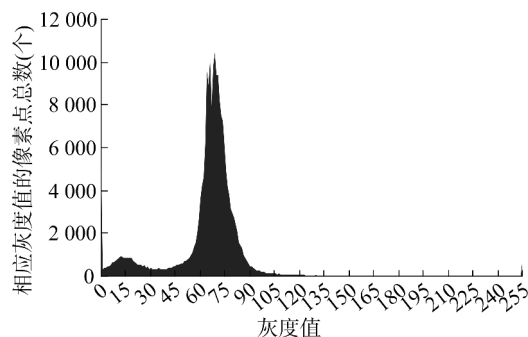
从图 6-b 可以看出 2 个波峰之间的最小值即最佳阈值, 为 35。此时在 HALCON 里进行阈值分割的操作为: threshold (Hue, HighSaturation, 0, 35)。分割效果如图 7 所示, 可以看出, 提取目标与背景分割效果良好, 已经达到了预期效果。但是在很多情况下背景的变化, 光线的不均匀, 使得我们无法使用固定阈值进行分割处理。针对这个问题一般有 2 种方法可以解决, 一种是估算明暗函数以补偿不均匀的灰度模式, 然后再做全局阈处理; 另外一种是采用可变阈值处理。对两者进行比较后, 本研究采用后者<sup>[15]</sup>。该算法主要分为 2 步:

首先要对图像进行均值滤波降噪处理, 其计算公式为:

$$f(x, y) = \frac{1}{M} \sum g(x, y) \quad (7)$$



a. 增强对比度后的 H 分量图



b. 增强对比度后的 H 分量直方图

图6 图像对比度增强后效果



图7 固定阈值分割效果

式中:  $f(x, y)$  是均值滤波后得到的图像;  $M$  为该滤波模板中包含当前像素在内的像素总数。选择均值滤波器尺寸大小时非常重要, 其尺寸决定了能被提取的目标区域的大小。通常情况下, 滤波器的宽度要大于被识别物体的宽度, 此时选择滤波器宽度为 200。在 HALCON 中利用算子 `mean_image` 实现对图像的滤波处理。

其次采用动态阈值分割法<sup>[13]</sup>对图像进行分割处理。它利用均值或中值滤波器对图像进行平滑处理, 然后得到以当前像素为中心的平均灰度值, 再利用此灰度值进行分割。用  $f_{x,y}$  表示输入图像, 用  $g_{x,y}$  表示平滑后的图像, 则对亮物体的动态阈值分割处理为:

$$T = \{ (x, y) \in R | f_{x,y} - g_{x,y} \geq g_d \}; \quad (8)$$

对暗物体的动态阈值分割处理为:

$$T = \{ (x, y) \in R | f_{x,y} - g_{x,y} \leq -g_d \}。 \quad (9)$$

对图 6-a 进行动态阈值分割的效果如图 8 所示。在选择均值滤波器尺寸时非常重要, 它的大小决定了能被分割出来的物体大小。通常情况下, 滤波器的宽度要大于被识别物体的宽度。阈值分割算子 `dyn_threshold (OrigImage, ThresholdImage, RegionDynThresh, Offset, LightDark:)` 中, 最关键的参数即为 `Offset`。由于本研究是对暗物体的动态阈值分割, 所以 `Offset` 对应公式 (9) 里的  $g_d$ , 参数 `Offset` 的取值范围为  $-255.0 \leq \text{Offset} \leq 255.0$ , 如果取值太小, 则会产生过多噪声, 不利于目标的分割, 如果取值过大, 提取到的区域就会偏小, 导致无法完整地提取到目标物。本研究经过试验验证, 取值 5 为最佳。为了防止由于光照或者阴影的原因造成识别错误, 分别对  $H$  分量及  $S$  分量进行动态阈值处理, 然后进行并集操作, 以提高识别率。



图8 动态阈值分割效果

### 3.4 形态学运算

腐蚀和膨胀在形态学运算中是 2 种最基本也是最重要的方法, 而这 2 种运算又是互为对偶的。腐蚀的作用是消融物体的边界, 如果物体有一部分区域小于结构元的大小, 那么腐蚀后物体会在此处断裂, 分为 2 个部分。此结构元的大小可以自己定义<sup>[16]</sup>。

对  $Z^2$  元素的集合  $A$  和  $B$ ,  $A$  被  $B$  腐蚀, 表示为  $A - B$ , 定义为:

$$A - B = \{ z | (B) : \subseteq A \}。 \quad (10)$$

而膨胀的作用与腐蚀相反, 它不仅可以使物体的边界扩大, 还可以将图像中原本分离的物体连接起来。膨胀的结果也与图像本身和结构元的大小有关。

对  $Z^2$  元素的集合  $A$  和  $B$ ,  $A$  被  $B$  膨胀, 表示为  $A + B$ , 定义为:

$$A + B = \{ z | (\hat{B}) : \cap A \neq \phi \}。 \quad (11)$$

式中:  $\phi$  为空集;  $B$  为结构元。

在进行树干分割时主要按以下步骤进行: (1) 连通域处理, 将图像中不相连的像素分开, 获得相互独立的区域; (2) 进行腐蚀操作, 将树木与不需要的区域分离; (3) 使用算子 `select_shape` 筛选出基于面积和矩形的目标区域; (4) 进行膨胀操作, 还原树干直径, 此操作需使用与腐蚀操作时同样大小的结构元尺寸。

经上述步骤后得出理想区域如图 9 所示: 树干虽然被分割出来, 但是形状不规则, 不利于后期的树距测量, 所以在此基础上需生成图像的最小外接矩形<sup>[17]</sup>, 过程如下:

`smallest_rectangle1 (RegionDilation, Row1, Column1, Row2, Column2)`

`gen_rectangle1 (Rectangle1, Row1, Column1, Row2, Column2)`

树干的最小外接矩形见图 10, 最后将最小外接矩形以白色轮廓线的形式显示在图像中, 见图 11。

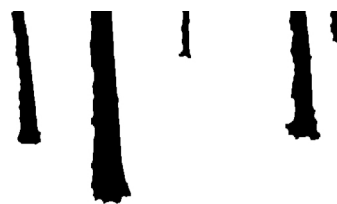


图9 形态学处理结果

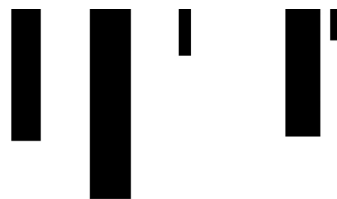


图10 树干的最小外接矩形



图11 最小外接矩形轮廓线

## 4 试验结果与分析

为了验证本研究算法的实用性, 选择普通的绿化草坪区作为试验场地, 采用本研究的图像采集方法, 分 2 次共采集了

40 幅图像进行测试,1 次为晴天中午时分采集,1 次为阴天 15:00 左右采集。部分试验图像如图 12 所示,图 12-a 为晴天采集,光照强烈,同时一株树干有刷白,另外 2 株刷白不明显;图 12-b 为阴天采集,光线较弱,3 株树干均刷白不均匀。

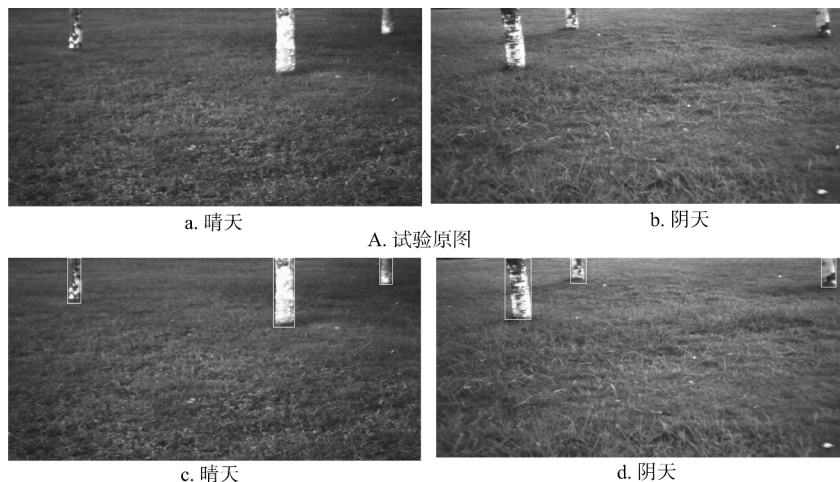


图 12 试验原图与树木标志图

表 1 试验数据

环境	图像数量	识别准确率(%)	平均时间(s)
晴天	24	91.67	0.099
阴天	16	93.75	0.097
总平均值	—	92.70	0.098

## 5 结论

本研究通过使用 HALCON 软件强大的功能,将复杂的自然环境通过 HSV 颜色空间模型消除了因光照和阴影等影响因素,其中主要利用  $H$  分量受光照影响较小的优点,并将摄像头进行合理的位置安装,减少了不必要的背景,降低了图像处理的复杂度。再结合动态阈值算法进行处理,然后进行形态学运算处理,包括腐蚀、膨胀、面积、矩形度筛选,最后生成最小外接矩形,完成了树木的提取分割。本研究得到如下结论:(1)采用 HSV 颜色空间中的  $H$  和  $S$  分量相结合的方法可以避免因光照或阴影造成的影响;(2)使用动态阈值分割法有效避免了因自然环境不同而造成的分割不准确等弊端;(3)本研究的算法识别速度快,平均速度为 0.098 s,满足了实时性的要求;(4)本研究为后续的树木间距测量实现全自动液控变割幅坐骑式割草机奠定了基础。

## 参考文献:

- [1]王新彦,周浩.一种液控变割幅坐骑式割草机:201410784597.3[P].2014-12-17.
- [2]雷文华.机器视觉及其应用(系列讲座)第一讲 机器视觉发展概述[J].应用光学 2006 27(5):467-470.
- [3]白丽丽.用于机器人定位导航的树木检测算法研究[D].南京:南京理工大学 2012.
- [4]Reina G, Milella A. Towards autonomous agriculture: automatic ground detection using trinocular stereovision[J]. Sensors 2012, 12

试验结果表明,在 HSV 颜色空间内利用  $H$  分量及  $S$  分量可以很好地识别出树木,树木的识别准确率高达 92.7%,每幅图像的平均识别时间为 0.096 s,可以满足实时性的要求,集体识别时间见表 1。

- (9):12405-12423.
- [5]Ross P, English A, Ball D, et al. Novelty-based visual obstacle detection in agriculture[C]//IEEE International Conference on Robotics and Automation 2014.
- [6]Campos Y, Sossa H, Pajares G. Spatio-temporal analysis for obstacle detection in agricultural videos[J]. Applied Soft Computing 2016, 45:86-97.
- [7]阚仁峰,杨龙兴,南玉龙.基于 HALCON 图像处理的焊缝识别与提取方法的研究[J].物联网技术 2017(5):29-31.
- [8]李锦珑,张维昭,马宏锋,等.基于 HALCON 的车牌识别技术研究[J].西北师范大学学报(自然科学版) 2015(6):54-57.
- [9]兰红,胡涵.结合 HSV 空间的改进二维 Otsu 免疫组化图像分割[J].计算机应用与软件 2016 33(5):200-203.
- [10]郭翰林,林建,张翔.基于 HSV 空间再生稻植株与土壤背景图像分割[J].农机化研究 2017 39(7):169-174.
- [11]袁奋杰,周晓,丁军,等.基于 FPGA 的 RGB 和 HSV 色空间转换算法实现[J].电子器件 2010 33(4):493-497.
- [12]张红旗,刘宇,王春光.改进田间杂草识别图像预处理方法的研究[J].农机化研究 2015(6):70-73.
- [13]Steger C. 机器视觉算法与应用[M].北京:清华大学出版社,2008:144-155.
- [14]Weszka J S, Rosenfeld A. Histogram modification for threshold selection[J]. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics, 2007 9(1):38-52.
- [15]Gonzalez R C, Woods R E, Eddins S L. 数字图像处理的 MATLAB 实现[M].阮秋琦,译.2版.北京:清华大学出版社,2013:396-398.
- [16]杨琨,曾立波,王殿成.数学形态学腐蚀膨胀运算的快速算法[J].计算机工程与应用 2005 41(34):54-56.
- [17]卢蓉,范勇,陈念年,等.一种提取目标图像最小外接矩形的快速算法[J].计算机工程 2010 36(21):178-180.