

基于 CLAHE 的苹果树树枝迭代阈值分割方法研究*

姬伟¹ 陶云¹ 赵德安¹ 杨俊² 丁世宏³

(1. 江苏大学电气信息工程学院, 镇江 212013; 2. 东南大学复杂工程系统测量与控制教育部重点实验室, 南京 210096;
3. 江苏大学机械工业设施农业测控技术与装备重点实验室, 镇江 212013)

摘要: 针对农业采摘机器人自主导航和采摘过程中的障碍物树枝识别问题,为解决迭代阈值分割算法在目标与背景图像灰度差别不明显情况下的分割缺陷,提出了基于对比度受限自适应直方图均衡化基础上的果树树枝迭代阈值分割方法。首先,通过颜色空间变换,将 RGB 颜色空间的果树树枝图像转换到 XYZ 和 $I_1 I_2 I_3$ 颜色空间,并提取出 $X - Y$ 色差因子和 I_2 颜色因子,对其进行灰度差别分析;然后,对灰度差别不明显的图像进行对比度受限直方图均衡化处理,再进行迭代阈值分割,从而剥离出树枝区域。实验结果显示,采用本文方法,树枝图像分割成功率为 92%。

关键词: 树枝图像 颜色空间 迭代阈值 对比度受限自适应直方图均衡化

中图分类号: TP242; TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)04-0069-07

引言

果树树枝的识别在果实采摘机器人的自主导航和避障采摘过程中占有非常重要的地位,是路径规划的前提,如果不能有效的识别出果树树枝等障碍,机器人会与其发生碰撞,对机器人本体以及果树造成损伤。因此,有效检测出树枝等障碍物成为果实采摘机器人顺利采摘的关键环节。现阶段对果实采摘机器人树枝障碍感知相关研究较少^[1-5]。

在障碍物树枝图像的视觉识别中,如何把视觉传感器采集的树枝图像从错综复杂的背景中分割出来是主要难点。果树图像一般包括天空、绿叶、果实以及树枝,它们的颜色具有较大差别,目前对树枝图像进行分割多采用基于颜色空间的阈值分割,主要包括:直方图阈值法、最大类间方差法和迭代阈值法等。其中直方图阈值法简单易行,对于目标与背景灰度差别明显的情况,具有较好的分割效果,否则分割效果很差,且该方法中阈值的选取是人为确定,具有一定的局限性;最大类间方差法和迭代法都能动态的进行阈值分割,但最大类间方差法在目标物与背景灰度差不明显时会出现大块无法忍受的灰度区域^[6],甚至会丢失整幅图像的信息;迭代阈值法能够把图像前景和背景的主要部分所在位置都区分开来,但是图像的某些细微处没有得到很好区分^[7]。自适应直方图均衡化(Adaptive histogram

equalization, AHE)是近年来出现的一种用于对原始图像灰度级进行自适应调整的有效方法,它主要是对图像进行局部对比度增强处理,在保留图像有用信息的基础上增加像素灰度值的动态范围,从而使图像变得更加清晰^[8-9],但该方法处理后的图像对噪声较敏感,并且计算量巨大。而对比度受限自适应直方图均衡化方法(Contrast limited adaptive histogram equalization, CLAHE)是对 AHE 法的一种改进,在增强对比度的同时能抑制图像噪声^[10-11],更好地突出图像细节。

本文以苹果树树枝图像的识别为研究对象,提出一种基于对比度受限自适应直方图均衡化基础上的苹果树树枝迭代阈值分割方法。

1 颜色空间分析

1.1 XYZ 颜色空间

XYZ 颜色空间是以 3 个假想的三原色作为标准原色建立起来的,这种颜色模型能减少光源量度不稳定产生的噪声,同时对单一颜色背景的去色效果远优于 RGB 颜色模型。RGB 颜色空间向 XYZ 颜色空间的转换公式^[12]为

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.607 & 0.174 & 0.201 \\ 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0 & 0.066 & 1.117 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

收稿日期: 2013-06-13 修回日期: 2013-09-10

* 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20093227120013)、江苏省博士后基金资助项目(1102110C)、江苏省高校优势学科建设工程资助项目(苏政办发(2011)6号)和东南大学复杂工程系统测量与控制教育部重点实验室开放课题基金资助项目(MCCSE2013A03)

作者简介: 姬伟,副教授,博士,主要从事农业机器人和智能控制研究,E-mail: jwhxb@163.com

1.2 I₁I₂I₃颜色空间

基于 RGB 颜色空间各分量的高度相关性,Ohta 等^[13]为了寻找颜色分量之间完全独立的颜色空间,提出了 I₁I₂I₃颜色空间,其中 I₁是明度分量,I₂、I₃为色差分量,在该空间人眼感知到的信息是通过两条色彩信息通道传递的,而非颜色信息通道对色彩的传递和颜色知觉没有贡献^[14]。因此,在这个颜色空间中以 I₂为最佳特征,I₃次之。RGB 颜色空间向 I₁I₂I₃颜色空间的转换公式^[13]为

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & 0 \\ -\frac{1}{4} & \frac{1}{2} & -\frac{1}{4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2)$$

调用 50 幅不同光照、不同生长状态下的苹果树枝图像,随机点取图像中果实、树枝、天空和绿叶的颜色信息值:每一类采样 150 个数据,对这些数据统计分析结果如图 1 所示,可以看出在 XYZ 颜色空间,以 X-Y 颜色因子为颜色特征,树枝图像的像素灰度处于果实图像与树叶图像的灰度之间,并且与果实图像像素灰度的重合区域较多;在 I₁I₂I₃颜色空间,果实图像的像素灰度较大,与树枝、树叶及天空的像素灰度差别明显。基于以上分析,这里以 X-Y 颜色因子为颜色特征,采取合适的分割方法把树枝和果实一起先从图像中分割出来;同时,以 I₂颜色因子为颜色特征,采取同样的分割方法来分割出果实图像;然后,对上述两种结果采用减运算剥离树枝图像。

2 对比度受限自适应直方图均衡化的迭代阈值分割

由图 1a 的统计结果可以看出,采用 X-Y 颜色因子作为颜色特征时,果实、树枝图像与树叶、天空图像之间有部分像素点灰度相等,若直接采用迭代阈值分割,很难将其中的某些细微部分区分开来。为了改善图像细微处质量以解决图像对比度太低、细节不够突出的问题,采用 CLAHE 进行处理,对处理后的图像再进行迭代阈值分割;由图 1b 统计结果可以看出,果实图像与树枝、树叶及天空图像之间的像素灰度差别较明显,易于分割,因此这里不必进行 CLAHE 处理,直接利用迭代阈值法便可分割出果实图像。然后,从分割出的两种图像中剥离出含有噪声的树枝图像,最后结合形态学滤波及阈值面积消去法去除噪声得到最终树枝图像。

2.1 对比度受限自适应直方图均衡化

AHE 法是传统直方图均衡化方法的改进,它主

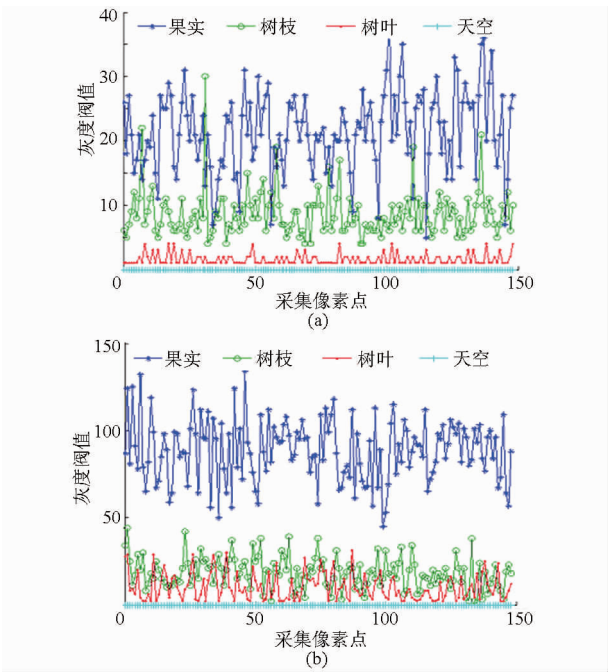


图 1 采集到的像素点的灰度
Fig. 1 Line chart of gray level of collected pixels
(a) X-Y 颜色因子像素点灰度分布
(b) I₂ 颜色因子像素点灰度分布

要用于对图像进行局部对比度增强处理,该方法能够使处理后的图像平坦均匀和变得更加清晰,但该方法对噪声敏感,并且计算量复杂。CLAHE 方法是对 AHE 法的一种改进,在增强对比度的同时能抑制图像噪声,更好地突出图像细节,因此采用 CLAHE 方法对图像进行处理,CLAHE 方法的主要实现步骤为:

(1) 将待处理的图像 S(M 像素×N 像素)分成多个连续均匀且不重叠的小区域。

(2) 计算每个区域的直方图。每个直方图灰度级记为 r,可能出现的灰度级的个数记为 K,则每个区域(m,n)对应的直方图函数为 H_{m,n}(r),0≤r≤K-1。

(3) 确定剪切限幅值β。

$$\beta = \frac{MN}{K\alpha} \quad (0 < \alpha \leq 1)$$

(3)

式中,参数α为截断系数,它是每个灰度级所允许像素的最大百分比。

(4) 将超出β值的像素平均分布到其他灰度级中。

(5) 对每个子区域进行直方图均衡化处理。

(6) 对每个像素做双线性插值处理,得到新的灰度,所采用双线性插值的处理方法为

记 L 为像素所在的位置,e 为在位置 L 处的像素值,即 S_{i,j}(L) = e,A、B、C、D 为每个区域的中心,如图 2 所示。变换函数分别为 F_A(e)、F_B(e)、F_C(e)、F_D(e),e 的值在输出图像中记为 e',它通过

4 个区域上变换函数的加权和来获得。

设 a 、 b 是位置 L 到 $\overline{AC}$ 和 $\overline{AB}$ 的距离,且 l_{AC} 和 l_{AB}

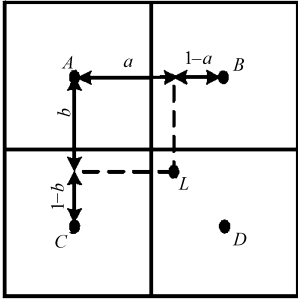


图 2 双线性插值示意图

Fig.2 Bilinear interpolation image

均为 1,则对于每一个 (a,b) 有

$$e' = (1 - b) [(1 - a)F_A(e) + aF_B(e)] + b[(1 - b)F_C(e) + aF_D(e)] \tag{4}$$

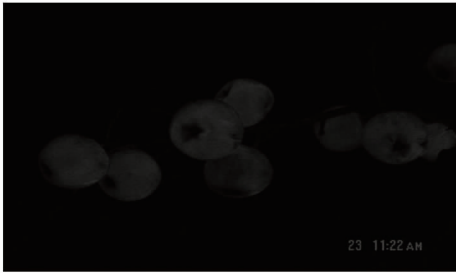
每个像素都有一个变换函数,可以表示为

$$T(i,j,e) = (K - 1) \sum_{i=0}^e F_{i,j}(e) \tag{5}$$

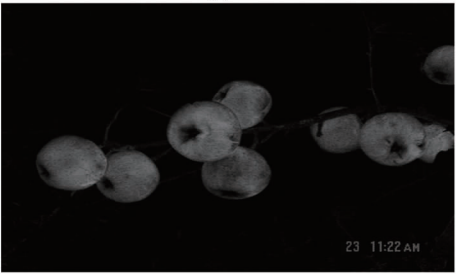
$(0 \leq e \leq K - 1)$

式中, $F_{i,j}(e)$ 是像素 (i,j) 的分布函数。

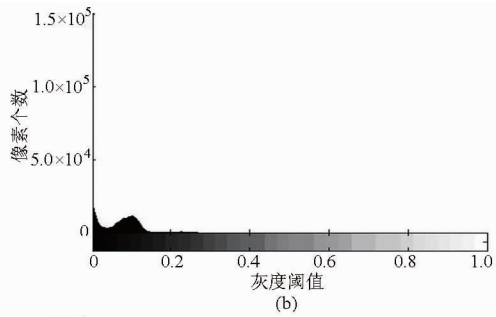
应用该方法对目标与背景灰度差别不明显的树枝图像进行处理,结果如图 3 所示。其中,图 3b 和图 3d 直方图中的横坐标灰度阈值是图像像素灰度除以 255 后所得。



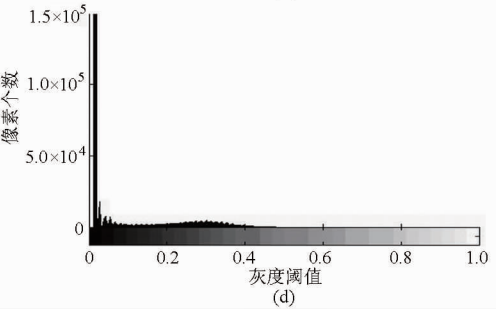
(a)



(c)



(b)



(d)

图 3 CLAHE 处理后的图像

Fig.3 Processing of CLAHE

(a) X-Y 颜色特征灰度图 (b) X-Y 灰度直方图 (c) X-Y 颜色特征经 CLAHE 处理后的灰度图 (d) 经 CLAHE 处理后的灰度直方图

从图 3b 中可以看出,以 $X - Y$ 颜色因子为颜色特征的图像灰度差别不明显,灰度处在一个非常小的范围,此时整体像素灰度大致处在 $0 \sim 30$ 之间,对比度较低,经 CLAHE 处理后的图像(图 3d)整体像素灰度大致处在 $10 \sim 100$ 之间,对比度增强,灰度差别明显,从而突出了果实、树枝图像与树叶、天空图像的细微部分,更容易将它们区分开来。

2.2 迭代阈值分割

迭代阈值法的基本方法是:开始时预先选定一个阈值作为初始阈值,然后按某种策略不断地改进这一阈值,直到满足某一给定准则为止。具体实现步骤为:

(1) 以整幅图像的平均灰度为初始阈值 T_0 ,有

$$T_0 = \frac{\sum_i \sum_j Q(i,j)}{N_1} \tag{6}$$

式中 N_1 ——图像的像素总数

$Q(i,j)$ ——图像任意一点像素的灰度

(2) 利用阈值 T_0 把图像分成两个区域: R_1 和 R_2 。 R_1 和 R_2 的灰度均值 μ_1 和 μ_2 分别为

$$\mu_1 = \frac{\sum_{Q(i,j) < T_k} Q(i,j) N_1(i,j)}{\sum_{Q(i,j) < T_k} N_1(i,j)} \tag{7}$$

$$\mu_2 = \frac{\sum_{Q(i,j) > T_k} Q(i,j) N_1(i,j)}{\sum_{Q(i,j) > T_k} N_1(i,j)} \tag{8}$$

式中 T_k ——阈值

$N_1(i,j)$ ——图像中每一点的像素灰度

(3) 计算出 μ_1 和 μ_2 后,新的阈值 T_{k+1} 为

$$T_{k+1} = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} \tag{9}$$

(4) 重复步骤(2)和(3),直到 T_{k+1} 和 T_k 的差小于某个给定值。

为了验证以 I_2 和 $X-Y$ 颜色因子为颜色特征的 CLAHE 选择问题,进行如图 4 所示实验,该实验结果图像均转换成标准灰度图,以便于比较。

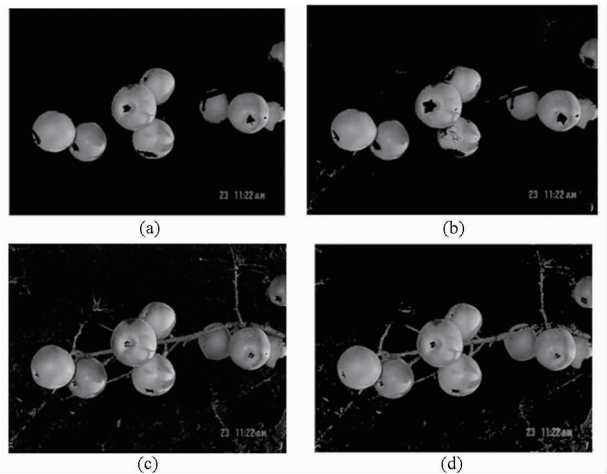


图 4 CLAHE 处理前、后的迭代阈值分割图

Fig.4 Iterative threshold segmentation before and after CLAHE

- (a) 以 I_2 为颜色特征未经 CLAHE 处理
- (b) 以 I_2 为颜色特征经 CLAHE 处理
- (c) 以 $X-Y$ 为颜色特征未经 CLAHE 处理
- (d) 以 $X-Y$ 为颜色特征经 CLAHE 处理

从实验结果可以看出:以 I_2 颜色因子为颜色特征经 CLAHE 处理的迭代阈值分割结果比未经 CLAHE 处理的迭代阈值分割结果效果要差,含有较多噪声,因此在单独分割苹果图像时,不需要先采用 CLAHE 处理;而以 $X-Y$ 颜色因子为颜色特征经 CLAHE 处理的迭代阈值分割,分割出的树枝、果实图像比未经 CLAHE 处理的迭代阈值分割结果效果要好,更多细节被分割出来,所含噪声也相应减少,由此可以看出,针对灰度差别较大的图像,迭代阈值分割具有较好的分割效果。

2.3 噪声去除

将上述未经 CLAHE 处理的迭代阈值分割图(图 4a)和经 CLAHE 处理的迭代阈值分割图(图 4d)进行减运算,得到含有噪声的树枝图像(图 5a)。为了去除图像中的噪声,先对其进行二值化处理(图 5b),然后运用形态学滤波与阈值面积消除法相结合的方法来去除噪声。

2.3.1 形态学滤波

数学形态学是在集合代数基础上通过物体和结构元素相互作用的某些运算得到物体更本质的形态。它利用了一个称作结构元素的探针,收集图像的信息,当探针在图像中不断移动时便可考察图像各个部分之间的相互关系,从而了解图像的结构特

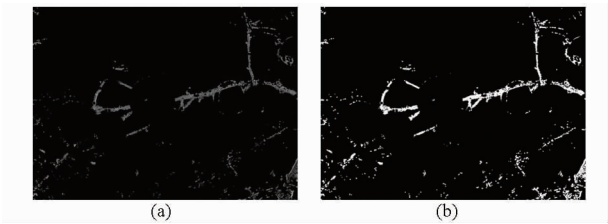


图 5 含有噪声的树枝图像

Fig.5 Branch and trunk image with noise

- (a) 灰度图
- (b) 二值化图

征^[15]。其中腐蚀和膨胀是数学形态学中最基本的运算。

开启运算和闭合运算是腐蚀与膨胀按不同顺序进行的组合。通过开运算,能够去除比结构元素小的细节部分,但并不明显改变其面积,同时能平滑较大物体的边界。而经过闭运算,原图像中断裂的地方得到了搭接,同时能够填平比结构元素小的缺口或孔洞,而总的位置和形状不变^[16]。对图 5b 先进进行开启运算再进行闭合运算得到图 6a,最后对该图像以圆盘型结构元素进行腐蚀操作,结果如图 6b 所示。

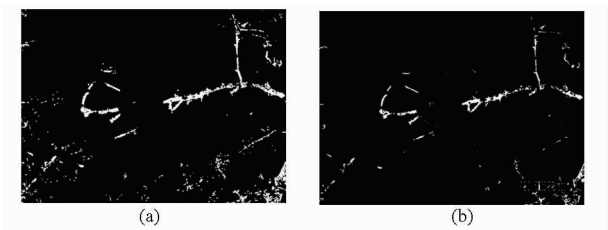


图 6 形态学滤波后的树枝图像

Fig.6 Branch and trunk image after morphological filtering

- (a) 开启和闭合运算后
- (b) 腐蚀后

2.3.2 阈值面积消除法

图 6 的处理结果虽然滤去了大量噪声,但由于原噪声面积过大,导致噪声没有能够完全滤除,这里采用阈值面积消除法来去除残留噪声^[17]。

首先对形态学滤波后图像的白色连通区域进行标记,这里均标记为正整数,然后统计每个正整数的数量即可确定各连通区域的面积,如果面积小于给定阈值,将该区域改为黑色,噪声被去除。经过这种方法处理后即可获得树枝图像,如图 7a 所示。为了保证树枝图像的完整性,再对得到的树枝图像以圆盘型为结构元素进行膨胀操作,如图 7b 所示。

2.4 算法流程图

基于 CLAHE 方法的果树树枝迭代阈值分割算法流程图如图 8 所示。

3 实验结果与分析

实验采用由数码相机在江苏省徐州市丰县苹果示范基地实地拍摄的分辨率为 1 280 像素 × 960 像素

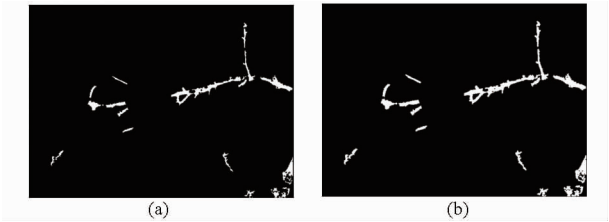


图 7 去噪后的树枝图像

Fig.7 Branch and trunk image after denoising

(a) 阈值面积消除噪声后 (b) 膨胀后

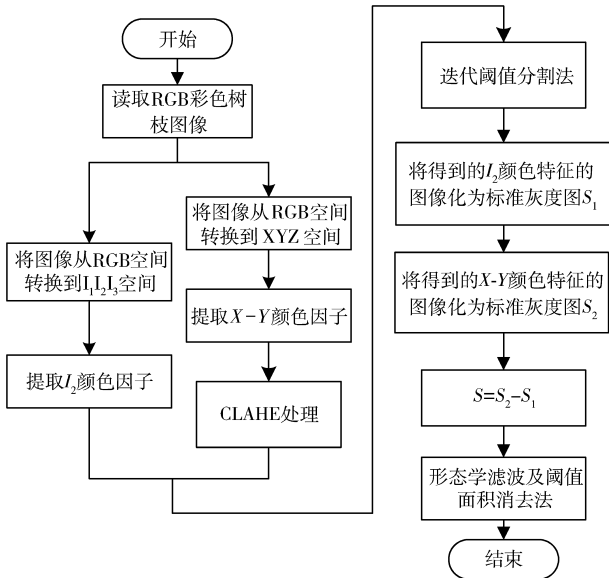


图 8 基于 CLAHE 的迭代阈值分割流程图

Fig.8 Flow chart of iterative threshold

segmentation based on CLAHE

的红富士苹果树图像作为研究对象。实验软件由 Matlab R2010b 编程开发,实验用计算机配置为:处理器 Intel Core 2Duo CPU ET3000@ 2.66 GHz,内存 2 GB,硬盘 320 GB。

将本文方法与性能良好的最大类间方差法进行比较,随机选取的 3 组实验结果如图 9 所示,从左到右依次为原始图像、最大类间方差分割法和本文方法,可以看出:基于 CLAHE 的迭代阈值法相比最大类间方差法效果更好,它不仅能够把树枝图像的细节分割出来,同时能够更好地避免图像的误分割。

3 组实验相应数据统计结果如表 1 所示。可以看到:①在目标与背景灰度差别不明显的 $X-Y$ 颜色空间中,经过 CLAHE 处理后,目标与背景图像灰度差别增大,对比度增强,从而分割更准确。②运用最大类间方差法和 CLAHE 的迭代阈值法所得的阈值在 I_2 颜色空间中近似相等,阈值均较准确,证明图像在灰度差别不明显的情况下需要进行 CLAHE 处理的正确性。③基于 CLAHE 的迭代阈值法相比最大类间方差法运行时间更快,实时性更好,原因是最大类间方差法需要对图像进行多次遍历,处理的快

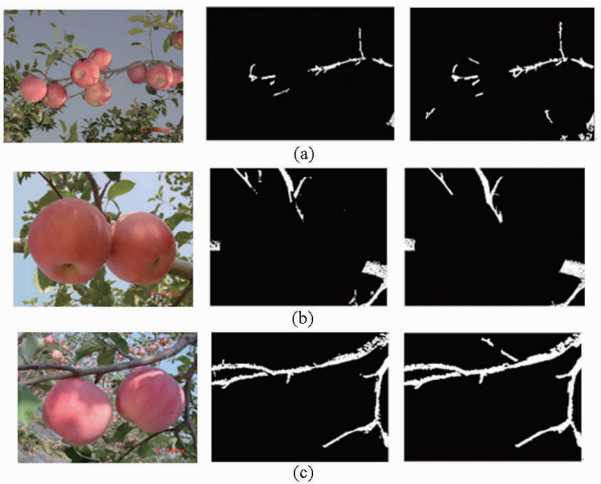


图 9 树枝分割结果图

Fig.9 Segmentation results of branch images

(a) 第 1 组 (b) 第 2 组 (c) 第 3 组

表 1 实验结果数据统计

Tab.1 Statistics of experimental results

组别	性能指标	最大类间方差法	本文算法
第 1 组	$X-Y$ 颜色因子阈值	3.876	14.331
	I_2 颜色因子阈值	43.289	44.154
	运行时间/s	0.985	0.657
第 2 组	$X-Y$ 颜色因子阈值	13.464	24.021
	I_2 颜色因子阈值	35.012	37.539
	运行时间/s	1.031	0.732
第 3 组	$X-Y$ 颜色因子阈值	10.406	25.934
	I_2 颜色因子阈值	46.681	47.613
	运行时间/s	1.398	0.853

慢与图像的大小有关,而基于 CLAHE 的迭代阈值分割法的处理时间主要取决于迭代的次数,在本实验中,第 1 组迭代了 3 次,第 2 组迭代了 3 次,第 3 组迭代了 4 次,都较快找到了最佳阈值。

在此 3 组实验的基础上,通过对 25 幅分辨率为 1 280 像素 $\times$ 960 像素的果树图像进行识别,有 23 幅树枝图像被成功分割,分割成功率为 92%。

4 结束语

针对采摘机器人障碍物树枝视觉识别问题,提出了基于 CLAHE 的果树树枝迭代阈值分割方法,分析了 XYZ 及 $I_1I_2I_3$ 颜色空间下的颜色信息,重点比较研究了在目标与背景差别明显与不明显情况下的图像细节如何突出问题,对灰度差别不明显的图像进行对比度受限直方图均衡化处理后,需再进行迭代阈值分割来剥离树枝区域。实验结果表明,与传统方法相比,所研究方法具有更好的实时性和准确性,能够有效的解决传统迭代阈值分割算法在目标与背景图像灰度差别不明显情况下的无法区分细微部分的缺陷,较好地分割出苹果树枝图像,为后续的障碍物树枝准确识别和定位工作奠定了良好基础。

参 考 文 献

- 1 蔡健荣,孙海波,李永平,等. 基于双目立体视觉的果树三维信息获取与重构[J]. 农业机械学报,2012,43(3):152-156.
Cai Jianrong, Sun Haibo, Li Yongping, et al. Fruit trees 3-D information perception and reconstruction based on binocular stereo vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(3): 152-156. (in Chinese)
- 2 李莹莹,姬长英,王海清,等. 基于 MATLAB 的苹果树枝图像分割方法研究[J]. 科学技术与工程,2012,12(13):3084-3087.
Li Yingying, Ji Changying, Wang Haiqing, et al. Research on the methods of apple branches image segmentation based on MATLAB[J]. Science Technology and Engineering, 2012, 12(13): 3084-3087. (in Chinese)
- 3 Chin Hung Teng, Yung Sheng Chen, Wen-Hsing Hsu. Constructing a 3D trunk model from two images[J]. Graphical Models, 2007, 69(1):33-56.
- 4 Jesús Gumbau, Miguel Chover, Inmaculada Remolar, et al. View-dependent pruning for real-time rendering of trees[J]. Computers & Graphics, 2011, 35(2): 364-374.
- 5 Ji Wei, Zhao Dean, Cheng Fengyi, et al. Automatic recognition vision system guided for apple harvesting robot[J]. Computers and Electrical Engineering, 2012,38(5): 1186-1195.
- 6 王强. 图像分割中阈值的选取研究及算法实现[J]. 计算机与现代化,2006,134(10):54-56.
Wang Qiang. Research on choice of threshold value and realization of algorithm in cutting apart picture[J]. Computer and Modernization, 2006,134(10):54-56. (in Chinese)
- 7 邓林华,许骏,程向明. 基于迭代阈值的太阳像分割算法的应用研究[J]. 计算机与现代化,2010,182(10):72-74.
Deng Linhua, Xu Jun, Cheng Xiangming. Application research on segmentation algorithm for sun-image based on iteration threshold[J]. Computer and Modernization, 2010, 182(10):72-74. (in Chinese)
- 8 Zhu Youlian, Cheng Huang. An adaptive histogram equalization algorithm on the image gray level mapping[J]. Physics Procedia, 2012,25:601-608.
- 9 赵吉文,魏正翠,汪洋,等. 基于灰度带比例的优质西瓜子识别算法研究与实现[J]. 农业工程学报,2011,27(4):340-344.
Zhao Jiwen, Wei Zhengcui, Wang Yang, et al. Research and implementation of recognition algorithm based on gray scale of watermelon seeds[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(4): 340-344. (in Chinese)
- 10 Josephus C S, Remya S. Multilayered contrast limited adaptive histogram equalization using frost filter[C] // IEEE Recent Advances in Intelligent Computational Systems, 2011: 638-641.
- 11 Boschetti A, Adami N, Leonardi R, et al. High dynamic range image tone mapping based on local histogram equalization[C] // IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME), 2010: 1130-1135.
- 12 Tseng D C, Chang C H. Color segmentation using perceptual attributes[C] // Proceedings of the 11th IAPR International Conference on Pattern Recognition, 1992:228-231.
- 13 Ohta Y, Kanade T. Color information for region segmentation[J]. Computer Graphics and Image Processing, 1980, 13(20): 1660-1661.
- 14 王桂婷,翟宏琛,张铁群,等. 一种色彩向量的降维表示方法[J]. 光学学报,2002,23(8):920-924.
Wang Guiting, Zhai Hongchen, Zhang Tiequn, et al. A method of reducing dimensions of color vector representation[J]. Acta Optica Sinica, 2002,23(8):920-924. (in Chinese)
- 15 秦襄培,郑贤中. MATLAB 图像处理[M]. 北京:电子工业出版社,2011.
- 16 田沛,范瑾,李亮,等. 基于类间方差和形态学的一类生物特征识别[J]. 清华大学学报:自然科学版,2007,47(增刊): 147-150.
Tian Pei, Fan Jin, Li Liang, et al. Biometrics based on the variance between clusters and morphology[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2007, 47(Supp.): 147-150. (in Chinese)
- 17 Pun T. Entropic thresholding—a new approach[J]. Computer Graphics Image Process, 1981, 16(3): 210-239.

Iterative Threshold Segmentation of Apple Branch Images Based on CLAHE

Ji Wei¹ Tao Yun¹ Zhao Dean¹ Yang Jun² Ding Shihong³

(1. School of Electrical and Information Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China

2. Key Laboratory of Measurement and Control of Complex Systems of Engineering, Ministry of Education,
Southeast University, Nanjing 210096, China

3. Key Laboratory of Facility Agriculture Measurement and Control Technology and Equipment of Machinery Industry,
Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: For automatically navigating and identifying branches obstacle in the picking process of agricultural harvesting robots, it is necessary to solve the defection of iterative threshold segmentation since the gray scale difference between target and background is not clear. The iterative threshold segmentation of apple branch images based on contrast limited adaptive histogram equalization (CLAHE) was proposed. Firstly, the RGB color space of the apple branch images were transformed to the XYZ and $I_1 I_2 I_3$ color space by transformation, and the $X - Y$ color difference factors and I_2 color factor of the apple branch images were extracted to analyze their gray level difference. Then the CLAHE was applied to the image in which the gray level difference was not obvious before iterative threshold. Finally, the apple branch images were segmented from the original images. Results showed that the ratio of successful segmentation was 92% .

Key words: Branch images Color space Iterative threshold Contrast limited adaptive histogram equalization

~~~~~

(上接第 68 页)

**Fast Recognition of Multiple Color Targets of Litchi Image in Field Environment Based on Double Otsu Algorithm**

Peng Hongxing<sup>1,2</sup>    Zou Xiangjun<sup>1</sup>    Chen Lijuan<sup>1</sup>    Xiong Juntao<sup>1</sup>    Chen Keyin<sup>1</sup>    Lin Guichao<sup>1</sup>  
(1. Key Laboratory of Key Technology on South Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China  
2. College of Information, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** An object in the field environment usually contains two or more classes of color targets. Fast recognition of color target image is the key technology for robot positioning and operation, which is widely used in the field of military, natural disaster rescue, agricultural harvesting robot, etc. However the speed of multi-target recognition in the field environment is usually slow, which makes the visual positioning precision of robots lower at present. This paper proposed a double Otsu segmentation method based on the improved Otsu algorithm for the recognition of multiple targets. To prove the effectiveness of this method, it was used on mature litchi recognition in the field environment. First of all, in order to improve the efficiency, the traditional Otsu algorithm was improved. Then the background, stem and fruit of the target color image were respectively recognized by using the improved Otsu algorithm. Compared with the K-means clustering (K-means) algorithm, the fuzzy C-mean clustering (FCM) algorithm, the Otsu and K-means algorithm, and the Otsu and FCM algorithm, the double Otsu segmentation algorithm was superior to the other four algorithms on the segmentation quality and correctness rate, the running time and stability. The test results showed that the recognition time for the mature litchi by using the double Otsu segmentation algorithm was less than 0.2 s. The effectiveness of the algorithm was verified through the experiment.

**Key words:** Litchi    Double Otsu segmentation algorithm    Multiple target    K-means clustering    Fuzzy C-mean clustering