

基于 K-means 算法的温室移动机器人导航路径识别

高国琴, 李 明

(江苏大学 电气信息工程学院, 镇江 212013)

摘 要: 针对温室移动机器人机器视觉导航路径识别实时性差、受光照干扰影响严重等问题, 首先, 将 HSI 颜色空间 3 个分量进行分离, 选取与光照信息无关且可以有效抑制噪声影响的色调分量 H 进行后续图像处理, 以削弱光照对机器人视觉导航的不良影响; 针对温室环境图像特有的颜色特征信息, 引入 K-means 算法对图像进行聚类分割, 将垄间道路信息与绿色作物信息各自聚类, 再通过形态学腐蚀方法去除聚类后图像中存在的冗余、干扰信息, 以获得完整的道路信息, 与常用阈值分割方法相比, 可降低因分割信息不明确而导致后续 Hough 变换进行直线拟合时需占据大量内存且计算量较大的问题, 进而提高移动机器人路径识别的快速性, 并适应温室作业机器人自主导航的高实时性要求。试验结果表明, 该文方法在复杂背景与变光照条件下的温室作业环境中可大幅降低光照对机器人导航的影响, 对于光照不均具有良好的鲁棒性, 道路信息提取率可达 95%。同时, 其平均单幅图像处理时耗降低 53.26%, 可显著提高路径识别速度。该研究可为解决温室移动机器人机器视觉导航路径识别的鲁棒性及实时性问题提供参考。

关键词: 温室; 机器人; 机器视觉; 图像分割; 路径识别; HSI 颜色空间; K-means 算法

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2014.07.004

中图分类号: S 24; TP 242

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2014)-07-0025-09

高国琴, 李 明. 基于 K-means 算法的温室移动机器人导航路径识别[J]. 农业工程学报, 2014, 30(7): 25—33.
Gao Guoqin, Li Ming. Navigating path recognition for greenhouse mobile robot based on K-means algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(7): 25—33. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

利用移动机器人完成温室自主导航作业, 不仅可以大幅度减轻劳动者的体力劳动, 也可以避免劳动者在有毒、高温和高湿等恶劣环境中作业时受到人身伤害。导航路径识别技术是实现温室移动机器人自主导航的首要技术之一。目前移动机器人导航领域的研究热点主要集中在机器视觉导航和卫星定位 (GPS) 导航 2 个方面^[1]。与 GPS 导航相比, 机器视觉具有灵活、实时、精度高、易实现、适用性强、获取信息量丰富以及高性价比等诸多优点。机器视觉一般分为立体视觉^[2-3]和单目视觉^[4-6]2 种。与单目视觉相比, 立体视觉算法复杂, 摄像头间同步性要求较高, 特别是空间匹配难以精确实现, 实时性较差, 因此, 本文基于单目视觉研究温室移动机器人的导航路径识别问题。

在温室环境下, 单目视觉系统采集到的图像因受光照变化、背景反光、阴影噪声等诸多因素影响

难以保证常规路径识别算法的鲁棒性, 加之温室背景环境信息复杂, 导致算法计算量增加, 这直接影响导航的快速性和实时性, 使其难以满足温室作业的效率要求。文献[7-8]提出一种基于光照色彩稳定性以及光照无关图的导航信息获取方法以降低光照信息对路径识别的影响。文献[9-12]通过改进 Hough 变换方法以提高路径识别算法的快速性。Hough 变换鲁棒性强, 但检测精度有限。目前, 在针对机器视觉导航路径识别问题所提出的图像处理方法的研究上, 人们对于颜色空间和图像分割及直线拟合方法有着不同的选择。在颜色空间的选取上, RGB 颜色空间较为常用^[13-14], 但其 3 个颜色分量与光照强度呈递增关系, 所以在温室环境变光照条件下, 难以满足对光照不均的鲁棒性要求。在图像分割方法的选取上主要以阈值分割为主^[15-16], 阈值分割法计算简单、运算效率较高、速度快, 但对于背景信息复杂的温室图像, 很难确定一个统一的阈值将物体与背景完全分离, 这将会给后续图像处理带来不便。在直线拟合方法的选择上, 除上述提到的 Hough 变换外, 最常用的是最小二乘法^[16-17], 其检测精度较高, 但对强噪声点敏感, 鲁棒性差, 所以对于背景环境信息复杂、干扰信息严重的温室环境, 难以获取准确的导航路径信息^[17-18]。

收稿日期: 2013-07-15 修订日期: 2014-03-01

基金项目: 江苏省高校优势学科建设工程资助项目 (PAPD) (苏政办发〔2011〕6 号); 镇江市农业科技支撑计划 (NY2011013)

作者简介: 高国琴 (1965—), 女 (汉族), 江苏扬州, 教授, 博士生导师, 主要从事机器人控制研究。江苏大学电气信息工程学院, 212013。
Email: gqgao@ujs.edu.cn

针对上述问题,本文针对单目视觉温室移动机器人,着重在降低光照信息对路径识别的影响和图像的分割算法上开展研究,在保证路径识别准确性的基础上,确保算法鲁棒,同时提升路径识别的快速性以满足温室移动机器人自主导航作业的实时性要求。

1 图像采集与颜色空间选取

1.1 图像采集

本文以四轮独立驱动移动机器人作为开发平台。采用单目视觉导航方式,摄像头型号为 Logitech (罗技) C600, 安装在机器人正前方,距地高度为 50 cm, 角度可任意调节,采集到的图像分辨率为 640×480 像素,图像格式为 JPG。以温室环境下的番茄垄间图像为处理对象,采集到的原始图像信息如图 1 所示。

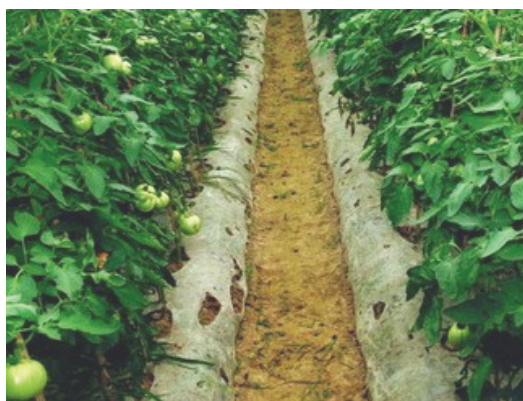


图 1 原始图像
Fig.1 Original image

1.2 颜色空间选取

对于机器视觉,常用的颜色空间有 RGB (red 红, green 绿, blue 蓝)、CMY (cyan 青, magenta 品红, yellow 黄)、HSI (hue 色调, saturation 饱和度, intensity 亮度) 等。

1.2.1 RGB 和 CMY 颜色空间

RGB 颜色空间的主要缺点是 RGB 每个分量不仅要表示颜色,还要表示颜色的明暗程度,相似颜色在 RGB 颜色空间中的距离可能相当大,而不同颜色在 RGB 颜色空间中的距离却可能非常小。自然环境下获取的农业环境图像易受光照、茎叶遮挡和阴影信息等情况影响,即对亮度信息比较敏感,而 RGB 颜色空间的 3 个颜色分量相互耦合并且与光照强度呈递增关系,只要亮度改变,3 个分量都会随之相应地改变,导致同一颜色物体的 RGB 值分散在 RGB 空间中很大的区域内,使目标信息不稳定,从而难以确定用于识别目标的阈值范围,给

路径识别带来很大的困难。对于温室移动机器人导航路径识别来说,光照因素不可忽略,可见,RGB 颜色空间不适合用作温室移动机器人导航路径识别图像的颜色空间。

CMY 颜色空间,与 RGB 颜色空间互补,用白色减去 RGB 颜色空间中的某一颜色值就等于同样颜色在 CMY 颜色空间中的值,因此,也不适合用作温室移动机器人导航路径识别图像的颜色空间。

1.2.2 HSI 颜色空间

HSI 颜色空间用色调 H 、饱和度 S 和亮度 I 3 种基本特征量来感知颜色,其中, H 表示不同颜色, S 表示颜色的深浅, I 表示颜色的明暗程度,3 个分量独立变化,其中,光照带来的直接影响只与亮度分量 I 有关,而与彩色信息 (H 、 S 分量) 无关,因此采用 HSI 颜色空间可以避免颜色分量间的相关性问题,并具有良好的算法适应性,使得在进行图像处理时针对性更强^[19-20]。结合温室特点,并基于上述分析,本文选取 HSI 颜色空间进行后续图像处理操作。对于色彩信息 H 和 S ,由于色调 H 分量是由物体反射表面自身的反射率所决定,其值唯一,另外, H 分量又可以有效地抑制噪声和光照的影响,因此本文进一步选取 H 分量作为后续图像处理对象。

RGB 颜色空间转换到 HSI 颜色空间的公式如下:

$$H = \begin{cases} \theta, & B \leq G \\ 360 - \theta, & B > G \end{cases} \quad (1)$$

$$\theta = \arccos \left\{ \frac{[(R-G) + (R-B)]/2}{[(R-G)^2 + (R-G)(G-B)]^{1/2}} \right\} \quad (2)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} [\min(R, G, B)] \quad (3)$$

$$I = \frac{1}{3}(R+G+B) \quad (4)$$

通过程序对采集到的原始图像进行处理后获取到的 HSI 颜色空间的 3 个分量效果图如图 2 所示。

观察处理后的图像可以发现,各分量图中存在较多噪声点,需要对图像进行去噪处理。因中值滤波具有既能去除噪声又能保护图像边缘的特性,故而对 H 分量图采用了窗口为 5×5 像素的中值滤波进行去噪处理,效果图如图 3 所示。

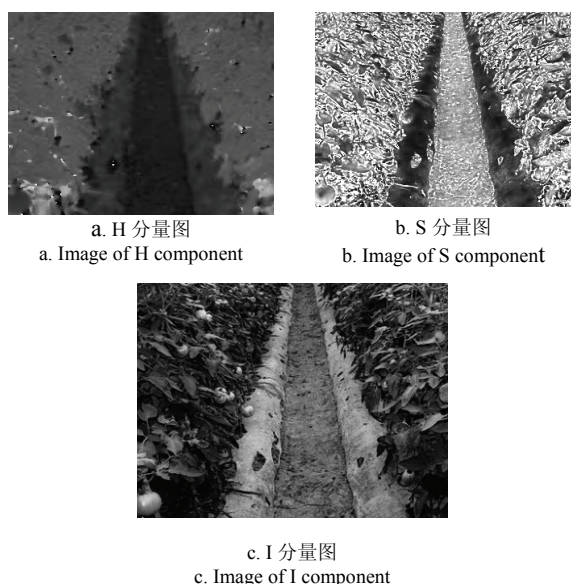


图 2 HSI 颜色空间的 3 个分量效果图

Fig.2 Three component images of HSI color space



图 3 H 分量中值滤波效果图

Fig.3 Image after using median filter on H component

2 图像分割及导航路径获取

2.1 阈值分割

图像分割是图像分析、模式识别和机器视觉的重要步骤。由于到目前为止还不存在一个通用的图像分割方法，也不存在判断分割是否成功的客观标准，再加上温室环境的不确定性，使得图像分割成为温室移动机器人路径识别技术的研究难点之一，又由于其分割质量的好坏对温室移动机器人的导航结果有着决定性的影响，因此，有必要研究一种适合于温室环境的图像分割方法。在现有的图像分割方法中，阈值分割方法由于其计算简单、运算效率较高、速度快等优点使其成为当前图像分割中应用最多的一类。其中，又以可以自动选择阈值的最大类间方差法（Otsu）最为常用。

阈值分割的关键因素是阈值的确定，而阈值的确定往往又是通过分析灰度图像的直方图得到的。如果当直方图中明显呈现双峰情况时，就可以选择 2 个峰值的中点作为最佳阈值。这种方法虽然实现简单，但是存在一定的局限性，物体和背景的对比度在图像中的各点是不一样的，很难用一个统一的阈值将物体与背景完全分离。当背景发生变化或是

受光照信息影响时，先前确定的阈值也将不再适用当前的图像，而需要重新确定。

为了进行效果比对，本文将中值滤波后的 H 分量效果图和原始图像的灰度化效果图分别进行了最大类间方差法图像分割处理。其直方图和分割后的效果图如图 4 所示。

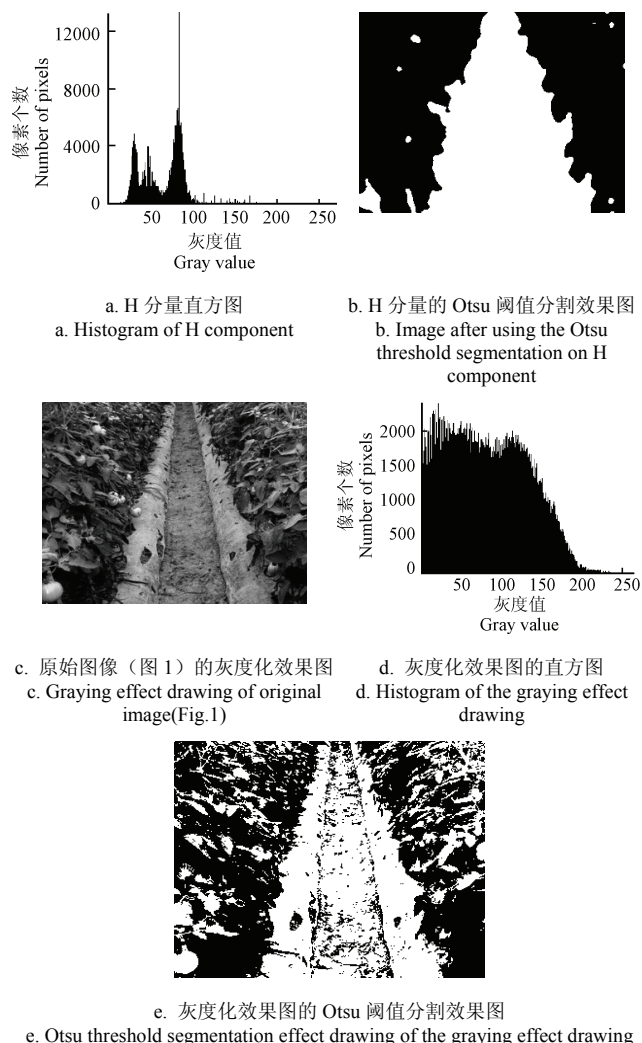


图 4 H 分量图、原始图像的 Otsu 阈值分割效果图

Fig.4 Otsu threshold segmentation effect drawing of H component and original images

由图 4a 可以看出，H 分量的直方图中存在 3 个波峰，2 个波谷；阈值分割效果图 4b 中道路信息和地膜信息被混杂在一起，边界信息模糊，且存在较多噪声点，不利于后续对图像进行边缘提取操作。

对照原始图像（图 1）的灰度化效果图 4c，由图 4d 可以看出，其直方图无明显波峰、波谷信息；从阈值分割效果图 4e 可见，其阈值分割效果较差，难以识别道路信息。

为解决上述分割效果不明显，信息模糊，不利于后续图像处理的问题，本文引入 K-means 算法对图像进行聚类分割。

2.2 引入 K-means 算法的聚类分割

2.2.1 K-means 算法

K-means、模糊 C-均值 (fuzzy C-means, FCM) 聚类算法为较常用的聚类算法。FCM 算法由于没有考虑任何与图像空间连续性有关的信息, 所以对噪声高度敏感, 而 K-means 算法则具有简单、快速, 处理大数据集时, 相对可伸缩和高效率, 当结果簇密集、簇与簇之间区别明显时, 效果更突出等优点。目前, K-means 算法主要应用于数据挖掘和医学图像处理, 为保证路径识别的准确性以及满足温室移动机器人导航的实时性, 本文选择 K-means 算法作为聚类分割算法。

K-means 算法中距离公式和准则函数的选取:

1) 选择数据样本间相似性度量的距离:

K-means 算法是一种基于样本间相似性度量的间接聚类方法, 选择适当的相似性度量是获得有效聚类结果的关键。通常根据实际需要来选取欧式距离、曼哈顿距离和闵氏距离中的一种作为数据样本间的相似性度量, 本文为保证温室移动机器人路径识别的快速性, 选取几何意义明确, 算法简单的欧氏距离。对于 n 维空间的 2 个点 $A = (a[1], a[2], \dots, a[n])$ 和 $B = (b[1], b[2], \dots, b[n])$, 其欧氏距离 $d(A, B)$ 的计算公式如下:

$$d(A, B) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a[i] - b[i])^2} \quad (5)$$

2) 选择评价聚类性能的准则函数: K-means

聚类算法使用误差平方和准则函数来评价聚类性能。给定数据集 X , 其中只包含描述属性, 不包含类别属性。假设 X 包含 k 个聚类子集 X_1, X_2, \dots, X_k , 各个聚类子集中的样本数量分别为 n_1, n_2, \dots, n_k , 各个聚类子集的均值代表点 (也称聚类中心) 分别为 m_1, m_2, \dots, m_k , 则误差平方和准则函数公式为:

$$E = \sum_{i=1}^k \sum_{p \in X_i} \|p - m_i\|^2 \quad (6)$$

2.2.2 K-means 算法的应用效果

通过对本系统采集到的图像进行观察可以发现, 图像主要由 3 部分组成, 道路信息、地膜信息和绿色作物信息。其中, 绿色作物由于分布不均匀, 存在植株间隙, 不同的农作物或是不同季节, 作物与茎叶可能存在颜色信息不统一, 因此不适合作为待分割信息。地膜处的图像信息由于混杂了地膜、土壤以及落叶、水管等其他信息, 图像较复杂, 因此也不适合作为分割对象。而温室道路信息具有图像颜色信息单一、边缘信息明显等优点。所以, 本

文选择道路信息作为最后待获取的图像分割信息。基于本文所采集的图像, 分别对其取簇的数目为 2、3 进行分割处理。

算法步骤如下:

- 1) 选择 k (此处 k 值分别取 $k=2$ 、 $k=3$) 个对象作为初始聚类中心;
- 2) 将图像中所有像素点按照最小距离原则分配到最近聚类;
- 3) 重新计算每个聚类的平均值, 并用该均值作为新的聚类中心;
- 4) 重复 2)、3), 直到每个聚类不再发生变化为止;
- 5) 获取到 k 个聚类。

聚类分割效果图如图 5 所示。

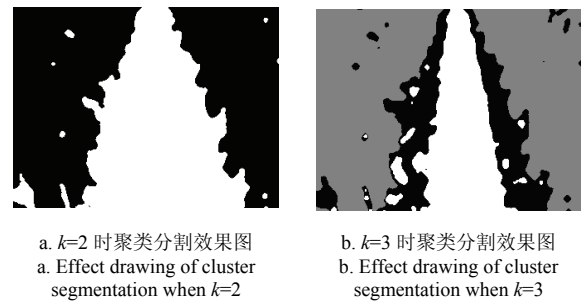


图 5 聚类分割效果图

Fig.5 Effect drawings of cluster segmentation

由图 5 可以看出, 当 $k=2$ 的时候, 分割后的效果图 and 经最大类间方差法 (Otsu) 阈值分割后的效果图相似, 道路信息和地膜信息混杂在一起, 边界信息模糊。而当 $k=3$ 时, 分割出的效果图道路信息更为明显, 边界突出, 有利于进行后续边缘提取操作。这也进一步说明在本系统中, 基于 K-means 算法进行聚类分割的效果更为理想。本文选取 $k=3$ 进行图像分割处理。

2.3 形态学去噪

经过 K-means 算法进行聚类分割后的图像中, 虽然道路信息明显与背景分离出来, 但还是存在一些冗余、干扰信息。如直接对其进行边缘检测和 Hough 变换, 由于信息较复杂, Hough 变换仍将占据较多的内存量和计算时间, 影响整个导航系统的实时性。所以, 本文先利用形态学腐蚀操作对分割后的图像进行二次去噪处理, 在保障真实道路边缘信息所占整体边缘信息比例的前提下, 去除原始图像中的冗余、干扰信息, 以有效减少边缘信息总量, 提高后续算法的快速性。

腐蚀算法的主要作用是收缩图像, 以使目标缩小, 孔洞增大, 因而可有效消除孤立噪声点, 以及物体的边界点^[21-22]。经形态学腐蚀后的效果图如图

6 所示。由图 6 可以发现, 经过腐蚀处理后的图像只剩下 3 种灰度值, 并且道路信息完全呈现高亮白色。为获取完整的道路信息, 通过编程实现将图像中的除道路信息外的其他 2 种灰度值(灰色和黑色)统一转换成白色, 将道路信息转换成黑色, 效果如图 7 所示(考虑印刷效果将颜色进行了翻转)。



图 6 腐蚀效果图
Fig.6 Effect drawing of corrosion



图 7 完整道路信息
Fig.7 Complete path information

2.4 导航路径获取

经过以上一系列图像处理操作后, 已获取完整的道路信息。随后采用 Canny 算子进行边缘检测提取边缘离散点, 通过逐行扫描获取图像每一行中 2 点白色高亮点的坐标信息, 取其均值进行转换获取导航离散点信息, 最后利用 Hough 变换对离散点进行拟合获取温室移动机器人导航路径信息。Canny 算子提取边缘效果图、导航离散点和 Hough 拟合后的导航路径效果图分别如图 8—10 所示。



图 8 Canny 算子提取边缘效果图
Fig.8 Effect drawing of edge detection using Canny operator



图 9 导航离散点
Fig.9 Navigation discrete points



图 10 Hough 拟合后的导航路径效果图
Fig.10 Effect drawing of navigation path by Hough fitting

由图 10 可以看出, 所获取温室移动机器人的

导航路径信息清晰准确。

2.5 导航控制参数获取

通过对获取到的导航路径信息进行坐标转换可以进一步得到移动机器人导航控制参数。导航控制参数通常包括实际导航路径与移动机器人轴线的位移偏差和角度偏差。基于单目视觉移动机器人的路径信息与导航控制参数信息转换示意图如图 11 所示。

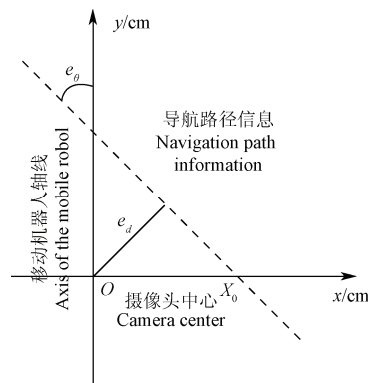


图 11 位移偏差与角度偏差示意图
Fig.11 Schematic diagram of displacement deviation and angular deviation

图 11 中, 原点 O 为摄像头中心点, y 轴为移动机器人车体的轴线方向, 虚线为获取到的导航路径信息, $e_d(\text{cm})$ 和 $e_\theta(^{\circ})$ 为导航路径信息与移动机器人轴线的位移偏差与角度偏差。根据摄像头坐标系与图像坐标系转换关系及小孔成像原理可以将图像坐标系中的 e_d 和 e_θ 转换到世界坐标系相应参考路径的 e'_d 和 e'_θ 。转换公式如下:

$$\tan e'_\theta = \frac{k_2 \tan e_\theta \sin \phi - X_0 \cos \phi}{k_1} \quad (7)$$

$$e'_d = \frac{X_0 \sin e'_\theta}{\tan e'_\theta} \quad (8)$$

式中: k_1 、 k_2 为摄像头成像几何模型的参数, 可以通过摄像头标定获得; $\phi(^{\circ})$ 为摄像头倾角; $X_0(\text{cm})$ 为图像坐标系中导航路径与 x 轴交点坐标。

由式 (7)、(8) 即可通过图像坐标系中的导航路径信息得到世界坐标系中的导航控制参数, 通过对图 10 所获得的导航路径信息进行计算, 得到导航控制参数为 $e'_d=2.3 \text{ cm}$, $e'_\theta=6.7^{\circ}$ 。

3 试验与结果分析

试验平台: 试验系统的硬件平台为实验室改装的“Voyager IV”全地形温室喷药移动机器人。试验系统上位机型号为 ThinkPad X220, CPU 为 Intel 酷睿 i5-2450M, 主频为 2.5 GHz, 内存容量为 2 GB,

操作系统为 Windows 7 Home Basic, 试验系统下位机为 ATxmega64A3 单片机。软件平台采用 Visual C++ 6.0 可视化集成开发工具编制人机交互界面, 各模块功能通过 C++ 编程语言结合 OpenCV(Intel® 开源计算机视觉库)^[23] 编程实现, 其中, 主要采用“cvSmooth”函数实现中值滤波操作、“cvErode”函数实现形态学腐蚀操作、“cvCanny”函数实现图像边缘检测操作以及采用“cvHoughLines2”函数实现 Hough 变换操作等。

试验方法: 首先, 在同一温室环境下的 3 种光照强度范围内分别采集 20 幅温室道路图像信息, 共计 60 幅。其次, 对该 60 幅道路图像信息分别采用本文所提出方法与常规方法(在 RGB 颜色空间灰度化、中值滤波、阈值分割和直接 Hough 变换, 这里简称 RGB 方法)进行处理获取导航路径信息。然后, 依据可以获取导航路径信息的图像数量和获取导航路径信息时的图像处理耗时, 对 2 种方法进行对比分析, 以验证本文方法在降低光照信息对导航路径识别影响方面的有效性。最后, 对提取到的导航路径信息通过坐标转换获取导航控制参数, 并与实际测量的导航控制参数进行对比, 以验证整个导航路径识别算法的有效性。

试验结果及分析:

采用本文方法和上述 RGB 方法分别对采集到的不同光照强度下的图像信息进行处理, 可以提取到导航路径信息的图像数量如表 1 所示。

表 1 不同光照强度下可提取到路径信息的图像数量
Table 1 Number of images that navigation path can be extracted under different lighting conditions

方法 Methods	光照强度范围 Range of light intensity/lx			图像处理流程 平均耗时 Time of image processing/ms
	60 000~ 80 000	10 000~ 30 000	2 000~ 4 000	
本文方法 Method of the paper	17	20	20	146
RGB 方法 Method of RGB	12	17	20	312

由表 1 可以看出, 本文所提出的方法在不同光照环境下均取得了较好的结果, 其导航路径信息提取率达 95%, 优于上述 RGB 方法, 特别是在强光照环境下可以降低光照对导航路径信息提取的影响。其中, 未检测出路径信息的 3 幅图像主要是因为作物茎叶对路面遮挡面积较大, 再加上强光照下阴影信息明显, 造成导航路径信息识别较为困难。另外, 本文方法处理一幅图像的平均耗时为 146 ms, 相对于上述 RGB 方法降低了 53.26%, 显著提高了导航系统的快速性, 能够更好地满足温室移动机器人作业的实时性要求。

通过坐标转换将上述获取到导航路径信息的 57 幅图像的路径信息转换成导航控制参数(位移偏差 e'_d 与角度偏差 e'_θ) 并与由激光测距仪 INR-LaserScannerH 和电子罗盘 Honeywell-HMR 3100 测得的实际导航控制参数(位移偏差 e''_d 和角度偏差 e''_θ) 进行对比, 其结果分别如图 12 和图 13 所示(注: 所有数值均取其绝对值)。

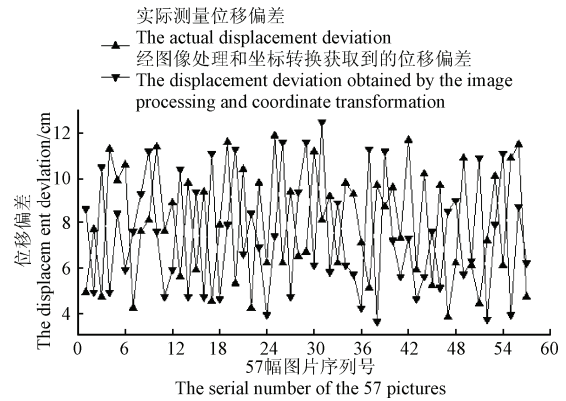


图 12 实际测量位移偏差与经图像处理和坐标转换获取到的位移偏差对比

Fig.12 Contrast of actual displacement deviation and that obtained by image processing and coordinate transformation

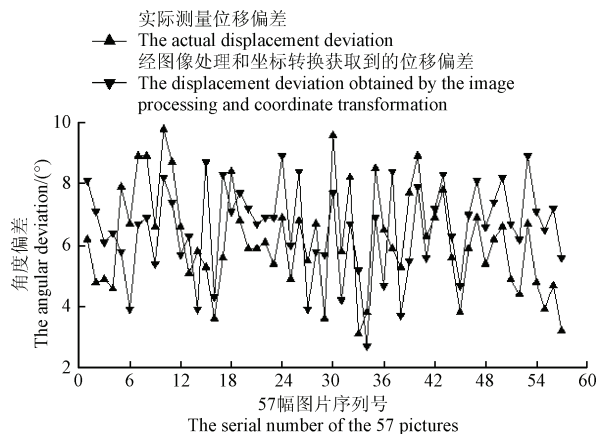


图 13 实际测量角度偏差与经图像处理和坐标转换获取到的角度偏差对比

Fig.13 Contrast of actual angular deviation and that obtained by image processing and coordinate transformation

由图 12 中实际测量所获取与经图像处理和坐标转换所获取的导航控制参数位移偏差, 可计算出二者间的最大误差为 6.2 cm, 平均误差为 3.7 cm, 均方根误差为 4.1 cm; 由图 13 中实际测量所获取与经图像处理和坐标转换所获取的导航控制参数角度偏差, 可计算出二者间的最大误差为 2.8°, 平均误差为 1.6°, 均方根误差为 1.7°。综合导航控制参数的误差分析结果可见, 采用本文提出的方法实现单目视觉导航路径识别, 可以满足移动机器人在

温室自主导航作业的精度要求。由于该试验结果在不同光照强度下取得, 可见, 本文所提出的方法有效提高了温室移动机器人机器视觉导航路径识别的鲁棒性。

4 结 论

针对温室环境下的单目视觉移动机器人, 为解决温室移动机器人路径识别受光照信息影响严重的问题, 提出了提取温室图像对光照信息影响较小的 H 分量作为图像处理对象的解决方法。为解决当前温室移动机器人导航路径识别实时性差的问题, 在图像分割时引入了 K-means 算法对图像进行聚类分割处理, 并经形态学腐蚀处理获取与背景完全分离的道路信息, 再经 Hough 变换提取导航路径信息, 最后通过基于单目视觉的坐标转换获取移动机器人导航控制参数。通过试验和分析表明:

1) 对于光照影响较大的温室作业环境, 提取 H 分量作为图像处理对象可提高导航路径识别对于光照不均的鲁棒性。

2) 在背景图像较复杂的温室作业环境中, 基于 K-means 算法的图像分割较阈值分割更为精确, 道路信息提取率可达 95%。

3) 在图像进行 Hough 变换前对图像采用形态学处理, 可以大大减少 Hough 变换的计算时间和内存占有量。整个图像处理流程, 单幅图像处理时耗降低 53.26%, 路径识别速度显著提高, 系统实时性要求能够更好地满足。

[参 考 文 献]

- [1] 杨为民, 李天石, 贾鸿社. 农业机械机器视觉导航研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 160—165.
Yang Weimin, Li Tianshi, Jia Hengshe. Simulation and experiment of machine vision guidance of agriculture vehicles[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2004, 20(1): 160—165. (in Chinese with English abstract)
- [2] Kise M, Zhang Q. A stereovision-based crop row detection method for tractor-automated guidance[J]. Biosystems Engineering, 2005, 90(4): 357—367.
- [3] 段华, 赵东标. 基于立体视觉的移动机器人导航方法的研究[J]. 控制与决策, 2006, 21(6): 709—713.
Duan Hua, Zhao Dongbiao, Research on mobile robot navigation based on stereo vision[J]. Control and Decision, 2006, 21(6): 709—713. (in Chinese with English abstract)
- [4] Royer Eric, Lhuillier Maxime. Monocular vision for mobile robot localization and autonomous navigation[J]. International Journal of Computer Vision. 2007, 74(3): 237—260.
- [5] DeSouza G N, Kak A C. Vision for mobile robot navigation a survey[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(2): 237—267.
- [6] 夏庭锴, 杨明, 杨汝清. 基于单目视觉的移动机器人导航算法研究进展[J]. 控制与决策, 2010, 25(1): 1—7.
Xia Tingkai, Yang Ming, Yang Ruqing. Progress in monocular vision based mobile robot navigation[J]. Control and Decision, 2010, 25(1): 1—7. (in Chinese with English abstract)
- [7] 袁挺, 任永新, 李伟, 等. 基于光照色彩稳定性分析的温室机器人导航信息获取[J]. 农业机械学报, 2012, 43(10): 161—166.
Yuan Ting, Ren Yongxin, Li Wei, et al. Navigation information acquisition based on illumination chromaticity stability analysis for greenhouse robot[J]. Transactions of the CSAM, 2012, 43(10): 161—166. (in Chinese with English abstract)
- [8] 安秋, 李志臣, 姬长英, 等. 基于光照无关图的农业机器人视觉导航算法[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 208—212.
An Qiu, Li Zhichen, Ji Changying, et al. Agricultural robot vision navigation algorithm based on illumination invariant image[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(11): 208—212. (in Chinese with English abstract)
- [9] 任永新, 谭豫之, 杨会华, 等. 基于模糊控制的黄瓜采摘机器人视觉导航[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2009, 30(4): 343—346.
Ren Yongxin, Tan Yuzhi, Yang Huihua, et al. Visual navigation of cucumber picking robot based on fuzzy control[J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2009, 30(4): 343—346. (in Chinese with English abstract)
- [10] Forsberg J. Mobile robot navigation using the range-weighted Hough transform[J]. Robotics & Automation Magazine, 1995, 2(1): 18—26.
- [11] 吴刚, 谭戡, 郑永军, 等. 基于改进 Hough 变换的收获机器人行走目标直线检测[J]. 农业机械学报, 2010, 41(2): 176—179.
Wu Gang, Tan Yu, Zheng Yongjun, et al. Walking goalLine detection based on improved Hough transform on harvesting robot[J]. Transactions of the CSAM, 2010, 41(2): 176—179. (in Chinese with English abstract)

- [12] 赵颖, 王书茂, 陈兵旗. 基于改进 Hough 变换的公路车道线快速检测方法[J]. 中国农业大学学报, 2006, 11(3): 104—108.
Zhao Ying, Wang Shumao, Chen Binqi. Fast detection of lines on highway based on improved Hough transform[J]. Journal of China Agricultural University, 2006, 11(3): 104—108. (in Chinese with English abstract)
- [13] 侯学贵, 陈勇, 郭伟斌. 除草机器人田间机器视觉导航[J]. 农业机械学报, 2008, 39(3): 106—112.
Hou Xuegui, Chen Yong, Guo Weibin. Machine vision based navigation for a weeding robot[J]. Transactions of the CSAM, 2008, 39(3): 106—112. (in Chinese with English abstract)
- [14] Jusoh R.M. Application of vision target localization for mobile robot[C]//4th Student Conference on Research and Development, SCOREd 2006: 144—146.
- [15] 孙元义, 张绍磊, 李伟. 棉田喷药农业机器人的导航路径识别[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2007, 47(2): 206—209.
Sun Yuanyi, Zhan Shaolei, Li Wei. Guidance lane detection for pesticide spraying robot in cotton fields[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2007, 47(2): 206—209. (in Chinese with English abstract)
- [16] 王新忠, 韩旭, 毛罕平, 等. 基于最小二乘法的温室番茄垄间视觉导航路径检测[J]. 农业机械学报, 2012, 43(6): 161—166.
Wang Xinzong, Han Xu, Mao Hanping, et al. Navigation line detection of tomato ridges in greenhouse based on least square method[J]. Transactions of the CSAM, 2012, 43(6): 161—166. (in Chinese with English abstract)
- [17] 吴佳艺, 杨庆华, 鲍官军, 等. 基于机器视觉的林间导航路径生成算法[J]. 农业机械学报, 2009, 40(7): 176—179.
Wu Jiayi, Yang Qinghua, Bao Guanjun, et al. Algorithm of path navigation line for robot in forestry environment based on machine vision[J]. Transactions of the CSAM, 2009, 40(7): 176—179. (in Chinese with English abstract)
- [18] Toru Torii. Research in autonomous agriculture vehicles in Japan[J]. Computer and Electronics in Agriculture, 2000, 25(1): 133—153.
- [19] 高伟, 王志衡, 赵训坡, 等. 基于 HSI 颜色空间的棉花杂质高速实时检测方法[J]. 自动化学报, 2008, 34(7): 729—735.
Gao Wei, Wang Zhiheng, Zhao Xunpo, et al. Robust and efficient cotton contamination detection method based on HSI color space[J]. Acta Automatica Sinica, 2008, 34(7): 729—735. (in Chinese with English abstract)
- [20] 周泓, 徐海儿, 耿晨歌. 基于 HSI 模型和 Hough 变换的指针式汽车仪表自动校验[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2010, 44(6): 1108—1112.
Zhou Hong, Xu Haier, Geng Cheng. Automatic checking of pointer automotive dashboard based on HSI model and Hough transformation[J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2010, 44(6): 1108—1112. (in Chinese with English abstract)
- [21] 冈萨雷斯, 伍兹. 数字图像处理: 第 3 版[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [22] 戴青云, 余英林. 数学形态学在图象处理中的应用进展[J]. 控制理论与应用, 2001, 18(4): 478—482.
Dai Qingyun, Yu Yinglin. The advances of mathematical morphology in image processing[J]. Control Theory and Applications, 2001, 18(4): 478—482. (in Chinese with English abstract)
- [23] Bradski Gary R, Kaehler. Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library[M]. Adrian O'Reilly Media, Inc, USA, 2008.

Navigating path recognition for greenhouse mobile robot based on K-means algorithm

Gao Guoqin, Li Ming

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

Abstract: In a greenhouse with an unstructured environment, for the images collected by monocular vision, conventional path recognition algorithms are difficult to guarantee their robustness due to illumination variation, background reflection, shadow noise, etc. In addition, the increase of the amount of calculation of algorithms caused by the complicated background information of the greenhouse environment affects the quickness and the real-timeness of the greenhouse mobile robot autonomous navigation, which leads to the difficulty of meeting the

requirement for the operation efficiency of the greenhouse mobile robot and impedes the practical application of the mobile robot technology in agricultural production. For the above problems, considering the influence of illumination conditions and complex background information in the greenhouse environment on the quality of the image segmentation, this paper focuses on the research of the color space selection and the image segmentation algorithm for a monocular vision greenhouse mobile robot. In order to not only reduce the impact of light information on the path recognition so as to improve the robustness of the algorithm, but also to enhance the accuracy of the path information recognition by adopting a novel image segmentation algorithm and meanwhile, reducing the calculation of the subsequent Hough transform so as to increase the quickness of path identification. Firstly, to ensure the robustness of the navigation path recognition algorithm in the greenhouse environment, three components H, S, and I are respectively separated from HSI color space, and the H component which has nothing to do with light intensity and can effectively restrain the effect of noise is extracted from the subsequent image processing. Secondly, to improve the rapidity of the greenhouse navigation path recognition and meet the real-time requirements of autonomous navigation operations, for the color characteristic of the greenhouse environment, the clustering segmentation of the image is performed based on K-means algorithm to achieve the respective clusters of the path and the green crop information. Then, the redundant and the interference information existing in the clustered image is eliminated by a morphological corrosion so as to obtain the complete and clear path information. Compared with a conventional threshold segmentation method, the proposed method can solve the problem of a too large memory occupation and a too long calculation time caused by the unclear segmentation information for the subsequent Hough transform, thus can enhance the rapidity of the greenhouse path recognition and meet the real-time requirements of autonomous navigation and operation of the greenhouse robot. Finally, in order to verify the effectiveness of the proposed method, the method in this paper, and the conventional method of the gray processing in RGB color space and the threshold segmentation are respectively used to process the greenhouse image information for comparison. The experiment results show that for the greenhouse robot working in the environment with a complex background and variable light, the proposed method can significantly reduce the effect of the non-uniform illumination on the navigation path recognition, that is, has a good robustness to the non-uniform illumination. Furthermore, the processing time of a single image is reduced by 53.26%, so the rapidity of the path recognition can be significantly improved.

Key words: greenhouses; robots; computer vision; image segmentation; path recognition; HSI color space; K-means algorithm

(责任编辑: 信世强)