

Otsu 算法在基于 ROS 系统的变电站机器人 导航线提取中的应用研究

杨慧炯

(太原工业学院 计算机工程系, 山西 太原 030008)

摘 要: 针对变电站机器人导航线和路面背景区分度高且图像分布具有规则性的特点, 将采集图像预处理后, 首先在 HSV 空间中进行导航线颜色分量抽取, 接下来转换到 YCbCr 空间中利用 Cb 分量灰度分布对光照强度不敏感的特征, 比较扫描图像局部方差和最大类间方差, 通过对 Otsu 算法进行改进, 快速完成导航线背景信息的剔除, 从而达到提取导航线的目的. 该算法应用基于 ROS 系统的轮式机器人, 通过实验表明该算法在不同天气和光照条件下总体有效率可达 98.9%, 具有较高的鲁棒性.

关键词: 变电站巡检机器人; ROS; 视觉导航; 目标提取

中图分类号: TM63; TP249

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2018)07-0122-05

The Applicative Research of Otsu Algorithm in Navigation-Line Extraction by ROS-System-Based Substation Robot

YANG Hui-jiong¹

(1 Department of Computer Engineering, Taiyuan Institute of Technology, Taiyuan 030008, China)

Abstract: A novel algorithm is proposed because there is high degree of distinction between navigation-line extracted by transformer substation robot and background area, and the images are distributed in regular ways. The algorithm first extracts the color component of navigation-line from the preprocessed images in the HSV space. Then, in order to quickly remove the background information to extract the navigation-line, the algorithm improves the Otsu algorithm by comparing and scanning the local variance and the maximal between-cluster variance of the image whereas the Cb component's grayscale distribution is insensitive to light intensity in the YCbCr space. The experiment results show that the overall efficiency of the algorithm is up to 98.9% in different weather and light conditions when it is applied to wheel robot based on the ROS system, and that the algorithm has high robustness.

Key words: substation patrol robot; ROS; visual navigation; object extraction

1 引言

变电站较为常用的机器人导航方式有磁导航、惯性导航和 GPS 导航. 其中磁导航已经实现产品化并得到了广泛的应用. 但是由于磁导航要求预先在机器人运行的路线上预埋磁性导航磁道, 存在地面施工量大、成本高、机器人运行线路固定调整麻烦等问题. 惯性导航方式对环境依赖度小, 在短时间内具

有很高的精度, 但随着时间的推移, 时间累积误差会变得非常大^[1,2]. GPS 导航目前还存在导航精度误差较大、容易受变电站强磁场环境干扰等问题.

随着计算机视觉、人工智能技术的快速发展, 基于机器视觉的导航因其获得的信息量相对丰富, 近年来越来越受到关注, 是未来机器人导航技术的一个发展趋势^[2]. 由于受电站周围环境、设备、光照、气候等各种外部因素的影响, 基于视觉的自动导航依

然是一个具有挑战性的课题。

ROS 是一款基于 Ubuntu 的机器人专用分布式操作系统,具有极高的代码复用率和优越的平台性能,为不同厂商生产的机器人硬件提供了统一的软件平台,可以极大地缩短机器人应用的开发周期和降低开发难度^[3]。

本文在分析变电站机器人导航线图像特征基础上,提出了采用 Otsu 算法的机器人导航线提取算法并将其应用于 ROS 系统。通过实验表明,该算法对不同环境、光照等条件下的导航线提取具有较高的鲁棒性和实时性。在基于 ROS 系统的变电站机器人导航线提取中可以得到很好的应用。

2 机器人导航图像的获取

2.1 图像采集环境的配置

为了在 ROS 系统下,通过基于 USB 接口的 UVC 摄像头进行视频图像采集,首先需要安装 UVC 驱动并配置工作路径。通过 apt-get 的方式将 UVC 驱动安装在 ROS 的系统路径中,然后设置好工作路径。具体指令如下:

```
$ sudo apt-get install ros-hydro-uvl-camera
$ source /opt/ros/hydro/setup. bash
```

2.2 图像采集及预处理节点拓扑结构

由于 ROS 运行时采用了通过通信模块实现模块间 P2P 的松耦合网络连接处理架构,在点对点通信过程中,所有进程都通过“节点(node)”、“消息(message)”、“主题(topic)”、“服务(service)”等方式进行数据处理,而上述处理,在 ROS 文件系统中以“包(package)”或“堆(stack)”的形式进行管理^[4]。因而需设计合理的文件管理结构实现导航图像的采集和预处理管理。

导航图像采集及预处理采用如图 1 所示的节点关系。节点 uvc_cam_node 为导航图像采集节点,主要控制摄像头完成导航图像的采集。节点 image_container 为导航图像的预处理及存储节点,主要任务为将摄像头采集的导航图像进行预处理及存储,以便于为下一步的导航线提取做准备。两个节点之间通过 camera/image/image_capture 进行话题发布和消息订阅。

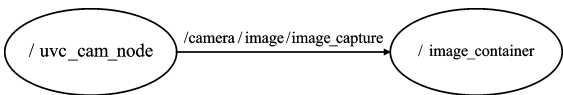


图 1 导航图像采集及预处理节点关系图

2.3 图像采集及预处理功能包结构设计

为了对 ROS 系统中的节点、消息、服务以及工具和库文件等进行有效管理,需通过设计合理的功能包(package)结构实现 ROS 源代码管理。图像采集及预处理节点对应的功能包结构如图 2 所示。

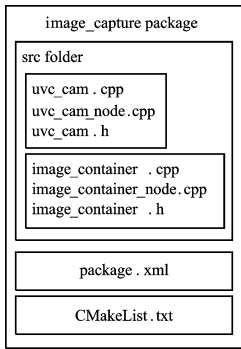


图 2 图像采集及预处理节点功能包结构

一个标准的 ROS 功能包包含源代码文件夹、package.xml 文件和 CMakeList.txt 文件。如图 3 所示,图像采集节点 uvc_cam_node 和图像预处理节点 image_container 对应的功能包源代码统一存放在 src 文件夹下进行管理。图像采集节点控制由图像采集程序 uvc_cam.cpp、节点实现程序 uvc_cam_node.cpp 以及头文件 uvc_cam.h 构成。图像预处理节点控制由图像预处理程序 image_container.cpp、节点实现程序 image_container_node.cpp、以及头文件 image_container.h 构成。Package.xml 用来说明包的基本信息,CMakeList.txt 用于进行节点程序的编译配置及依赖项目。

2.4 采集图像的预处理

在 ROS 环境下进行图像处理,可以基于 OpenCV 接口实现。由于 ROS 图像数据结构和 OpenCV 不同,因而采集图像的预处理主要由采集图像的畸变矫正、格式转换、图像压缩等环节构成。通过引入 OpenCV 相关功能包实现上述操作。采集图像预处理过程中需引入的主要功能包如表 1 所示。

表 1 图像预处理节点引用功能包列表

功能包名称	作用
image_proc	摄像头采集图像畸变矫正及 bayer 转换
cv_bridge	ROS 的 sensor_msgs/image 类型到 OpenCV 的 cv::Mat 类型转换
compressed_image_transport	图像压缩为 jpg 或 png 格式

通过引入上述功能包,可以方便地完成采集图

像的预处理操作.

3 导航线提取算法流程图的规范化

近年来,在经典的图像分割算法如阈值分割方法、边缘检测方法、区域生长技术基础上,特别是在机器视觉目标识别领域出现了很多新的图像分割算法,如基于水平集的分割方法^[5]、与神经网络方法相结合的分割技术^[6-7]、采用数学形态学的分割技术^[8]、基于模糊数学的分割方法^[9]、基于图论的分割方法^[10-12]等. 这些新的算法在不同的应用领域都取得了较为满意的分割效果.

变电站导航线一般采用 15cm 至 20cm 的黄色路面漆绘制,导航线和路面背景的分度度高且图像分布具有规则性,所以利用阈值分割算法即能达到导航线分割的目的. 在各种阈值分割算法中,最大类间方差法即 Otsu 算法,由于其具有分割效果好、鲁棒性好、算法效率高等特点,因而得到广泛应用.

由于变电站导航线在很多情况下都地处室外,周围设备林立,天气光线强弱的变化、阳光照射造成的阴影等都对拍摄图像会造成较大的影响,从而影响到图像分割的效率和鲁棒性. 为此,本文首先将采集到并经过预处理的图像由 RGB 色彩空间转换到 HSV 色彩空间,在 HSV 空间中对导航线的黄色分量进行抽取,接下来再由 HSV 色彩空间转换到 YCbCr 色彩空间,利用 Cb 分量灰度分布对光照强度不敏感的特征,对其采用 Otsu 算法进行聚类,分割出导航线.

为了进一步提高导航线提取算法的鲁棒性,本文采用扫描图像局部方差和 Otsu 算法相结合的方法,通过比较扫描图像的局部方差和最大类间方差,可以快速将灰度分布和导航线背景接近的信息剔除掉.

基于上述思想,本文提出如下变电站机器人导航线提取算法流程:

- Step1 读取采集及预处理节点图像
- Step2 图像色彩空间变换,由 RBG 色彩空间转换到 HSV 色彩空间
- Step3 在 HSV 色彩空间中将图像的黄色导航线色彩分量提取出来
- Step4 图像色彩空间变换,由 HSV 色彩空间转换到 YCbCr 色彩空间
- Step5 计算扫描窗格图像像素的局部方差和最大类间方差
- Step6 若扫描窗格局部方差大于最大类间方

差,则使用 Otsu 算法对窗口图像进行分割,否则直接转 Step7

Step7 若图像扫描未结束,转 Step5 继续扫描进行分割,否则直接转 Step8

Step8 对分割图像的聚类离散度进行度量,若离散度超过设定阈值则转 Step12, 否则直接转 Step9

Step9 对分割后的图像进行形态学开闭运算并标记连通区域数量和面积

Step10 去除面积太小的区域和边界区域

Setp11 对图像进行自适应加权中值滤波操作并转 Step15

Setp12 对分割后的图像进行自适应加权中值滤波操作

Setp13 对滤波后的图像进行形态学开闭运算并标记连通区域数量和面积

Setp14 去除面积太小的区域和边界区域

Setp15 分割结束,算法终止

4 导航线分割实验与分析

在不同天气条件下,分别在“顺光”、“逆光”、“侧光(包含带阴影条件)”等光照条件下,按照上述算法流程,对采集到的图像进行处理. 在不同天气和光照条件下采集图像各 100 幅进行测试,算法有效率统计数据如表 2 所示.

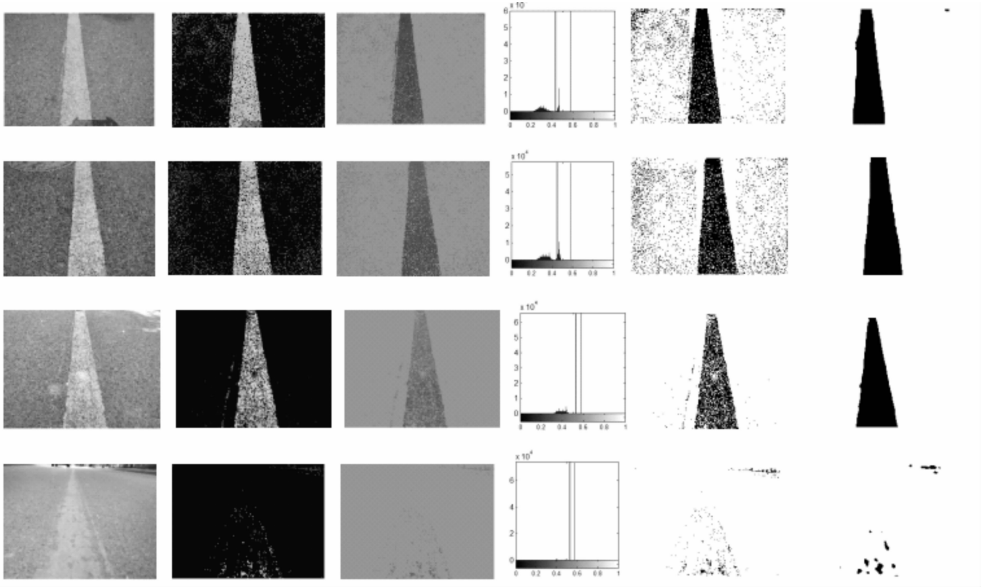
表 2 不同天气和光照条件下算法有效率统计						
天气条件	光照条件	HSV	YCb	CrOtsu	正确分割	算法有效率(%)
正常光照	顺光	100	100	100	100	100
	逆光	100	100	100	99	99
	侧光/带阴影	100	100	100	100	100
正午	顺光	100	100	99	99	99
	逆光	93	95	95	96	96
	侧光/带阴影	100	100	100	100	100
早晨/傍晚	顺光	100	100	100	99	99
	逆光	100	100	98	98	98
	侧光/带阴影	100	100	99	99	99
阴天		100	100	100	99	99
算法总体有效率						98.9

由表 2 可以看出,采用本文算法进行导航线提取,有效率可达 98.9%. 算法针对不同天气和光照条件均具有较好的鲁棒性. 图 3~图 4 分别为正午、阴天条件下导航线提取过程效果图,图中第一列为采集并经过预处理的图像,第二列为提取黄色分量

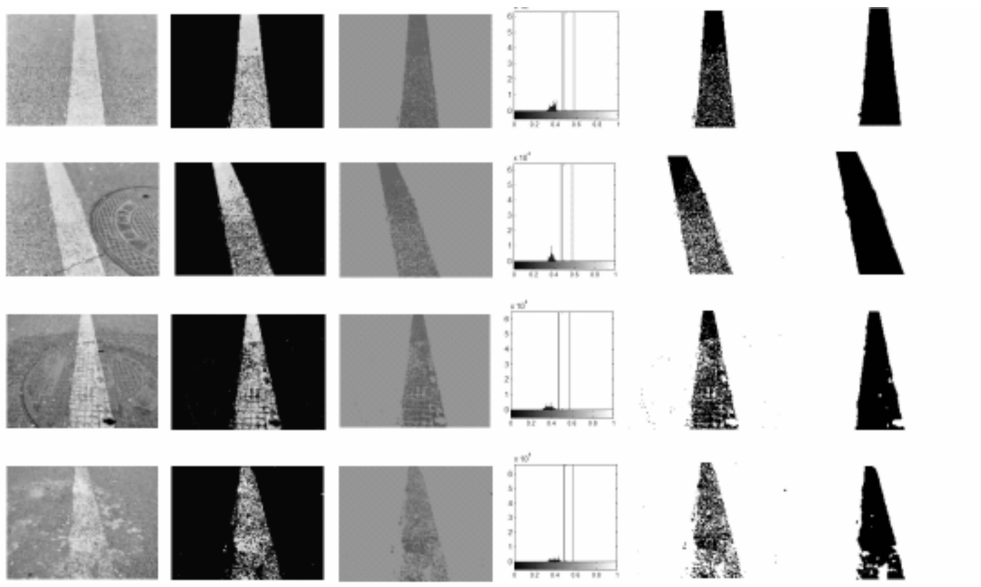
后的图像,第三列为在 YCbCr 色彩空间中提取的 Cb 分量,第四列为 Otsu 分割类间方差阈值直方图统计,第五列为 Otsu 分割结果,最后一列为最终分割效果.

图中第一行到第三行分别为“顺光”、“逆光”和“侧光/带阴影”光照条件下的分割效果,第四行为分

割失败效果. 由图可以看出,分割失败主要是由于在导航线磨损情况下,加上较强的光线反射或阴影,从而导致颜色特征信息提取不足,造成后续分割效果不佳. 但是在光线较为均匀的阴天环境下,即使是导航线磨损严重的情况下,也能得到较为满意的分割效果(具体见图 4 第四行).



采集图像 提取黄色分量 提取 Cb 分量 直方图统计 Otsu 分割结果 最终结果
图 3 正午光照下分割效果



采集图像 提取黄色分量 提取 Cb 分量 直方图统计 Otsu 分割结果 最终结果
图 4 阴天光照下分割效果

通过设计专门用于导航线提取算法和机器人控制的节点及功能包,并在 ROS 系统中对上述算法加以实现.

5 结束语

利用导航线路面图像分布相对具有规则性且色

彩相对单一的特点,通过在 HSV 色彩空间下进行导航线颜色提取,利用 YCbCr 空间 Cb 分量灰度分布对光照强度不敏感的特征,对扫描图像采用局部方差和 Otsu 算法相结合的方法进行聚类,进行导

参考文献:

- [1] Pagala P, Ferre M, Armada M. Design of Modular Robot System for Maintenance Tasks in Hazardous Facilities and Environments [C]. ROBOT2013: First Iberian Robotics Conference. Springer International Publishing, 2014: 185-197.
- [2] 杨森,董吉文,鲁守银. 变电站设备巡检机器人视觉导航方法[J]. 电网技术, 2009(03): 11-16.
- [3] 史思总. 基于 ROS 的室内变电站设备巡检机器人定位技术[D]. 绵阳:西南科技大学, 2016.
- [4] 朱鸽,郑杰,肖宇峰. 基于 UVC 协议的 ROS 视频监控系统设计[J]. 微型机与应用, 2015, (19)14-18.
- [5] Chunming Li, Chenyang Xu, et al. Distance regularized level set evolution and its application to image segmentation [J]. IEEE transactions on image processing, 2010, 19(20):3243-3254.
- [6] G Dong, M Xie. Color clustering and learning for image segmentation based on neural networks [J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 2007, 18(5):1424-1432.
- [7] 李朝晖,陈明. 基于小波和自学习神经网络的图像分割

航线提取. 实验证明,该算法对不同天气和光照环境具有较好的鲁棒性. 将该算法应用于基于 ROS 系统的轮式机器人导航取得了较为满意的效果.

- [J]. 计算机应用研究, 2006, 23(1):246-249.
- [8] EH Said, DEM Nassar, G Fahmy, HH Ammar. Teeth segmentation in digitized dental X-ray films using mathematical morphology[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2008:178-189.
- [9] 纪则轩,潘瑜,陈强等. 无监督模糊 C-均值聚类自然图像分割方法[J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(5): 773-780.
- [10] 刘松涛,殷福亮. 基于图论的图像分割方法及其新进展[J]. 自动化学报, 2012, 38(6):911-922.
- [11] Tao wenbing, Interactively multiphase image segmentation based on variational formulation and graph cuts [J]. Pattern Recognition, 2010, (43):3208-3218.
- [12] 龚劬,廖武忠,卢力,等. 基于图论的快速 FCM 图像分割算法[J]. 计算机工程, 2012, 38(8):192-197.

作者简介:

杨慧炯 男, (1972-), 硕士, 副教授. 研究方向为机器视觉、图形图像处理. E-mail: yhj_0@163. com.