

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.02.017

基于边缘检测的零件轮廓识别系统开发*

许鑫杰¹, 王秀锋², 鲁文其^{1*}, 游文辉¹, 吴迪¹, 杨亮亮¹

(1. 浙江理工大学机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018;

2. 杭州琦星机器人科技有限公司, 浙江 杭州 310018)

摘要:针对工业流水线检测中存在的成本大、检测效率低的问题,将轮廓检测技术应用到工业流水线检测中,基于边缘检测方法的基本原理,提出了一种基于边缘检测的零件轮廓识别方法。该方法首先使用 Canny 边缘检测算法来提取出零件的边缘,并在此基础上进一步提取出零件轮廓的相关特征,最后通过与待检测的零件轮廓特征相比较,从而实现对零件的识别检测;为了验证设计方法的正确性,本文搭建了一套零件轮廓识别系统,并使用工业零件来测试该系统的性能。研究表明:该系统能够快速、准确地识别目标零件,满足工业流水线检测的需求。

关键词:工业流水线检测;边缘检测;轮廓识别;Canny 算法

中图分类号:TH39;TP24

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2019)02-0201-05

Development of part contour recognition system based on edge detection

XU Xin-jie¹, WANG Xiu-feng², LU Wen-qi¹, YOU Wen-hui¹, WU Di¹, YANG Liang-liang¹

(1. Faculty of Mechanical Engineering & Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;

2. Hangzhou Qi Xing Robot Technology Co., Ltd., Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at the problems of high cost and low efficiency in industrial pipeline detection, the contour detection technology was applied to industrial pipeline detection. Based on the analysis of the basic principle of edge detection method, a method of part contour recognition based on edge detection was proposed. The method firstly used Canny edge detection algorithm to extract the edge of the part, and then further extracted the related features of the part contour. Finally, by comparing with the contour features of the part to be detected, the recognition and detection of the part can be realized. In order to verify the correctness of the design method, a part contour recognition system was built, and the performance of the system was tested by industrial parts. The results show that the system can quickly and accurately identify the target parts, meet the needs of industrial pipeline inspection.

Key words: industrial pipeline detection; edge detection; contour recognition; Canny algorithm

0 引言

工业生产中不可避免地涉及到各种工业零部件的测量、检测和识别。过去工厂生产线上需要工人进行检测,劳动力和管理成本高,还不能保证高检测率,尤其对于一些不适合人工作业的危险状况,人眼无法进

行检测^[1-2]。人工检测速度和检测精度已难以满足如今的要求。机器视觉开始逐渐应用于工业生产中,取代人工检测。

近年来,计算机技术、图像处理技术以及模式识别技术等发展迅猛^[3]。在零件检测中,图像的边缘轮廓被视为物体与背景的分界线,体现出图像属性

收稿日期:2018-07-23

基金项目:浙江省自然科学基金资助项目(LY18E070006,LY18E050016);国家自然科学基金资助项目(51307151,51677172)

作者简介:许鑫杰(1996-),男,浙江台州人,主要从事视觉软件方面的研究。E-mail:770659216@qq.com

通信联系人:鲁文其,男,副教授,硕士生导师。E-mail:luwenqi@zstu.edu.cn

中的显著变化,通常反映了属性的重要事件和变化,包括深度上的不连续、表面方向的不连续、物质属性的变化和场景明暗的变化等^[4]。因此,可以通过使用边缘检测算子来分割目标物体与背景,进而提取出目标物体。

国内外学者已提出了一些边缘检测算子^[5-7],如 CANNY J F^[8-9]提出了 Canny 算子,它能在噪声抑制和边缘检测之间取得较好的平衡,边缘检测性能好^[10]; SOBEL I^[11-12]提出了 Sobel 算子,它使用了一个 3×3 的滤波器来对图像进行滤波从而得到梯度图像, Sobel 算子在空间域上容易实现,执行速度快,对部分噪声具有平滑作用,还能够提供较精确的边缘方向信息,缺点是边缘定位精度不高^[13-14]; MARR D C 和 HILDRETH E^[15-16]提出了 Log 算子,它在拉普拉斯算子的基础上进行了改进,即先进行高斯滤波,再利用拉普拉斯算子进行边缘检测^[17]; PREWITT J M S^[18-19]提出了 Prewitt 算子,利用像素点上下、左右邻点的灰度差,在边缘处达到极值检测边缘,去掉部分伪边缘,对噪声有平滑作用。

本文将在传统轮廓检测技术的基础上,提出基于边缘检测的零件轮廓识别系统,使用机器人替代人工进行产品检测。

1 总体方案设计

为了在工业流水线上对于不同零件进行识别检测,本文设计了一套基于个人 PC 的零件轮廓检测系统,它由图像采集模块、数据通信模块、图像处理模块这几个模块组成。

其总体方案的原理框图如图 1 所示。

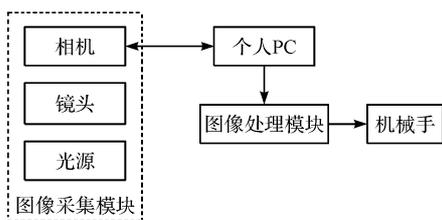


图 1 系统总体方案的原理框图

其中,系统各部分的重要功能如下:

(1) 图像采集模块(包含有工业相机、镜头以及光源)。获取图像信息;

(2) 数据通信模块。与机械手进行信息传递,将目标物体信息迅速传给机械手,对目标物体进行拾捡;

(3) 图像处理模块。在 PC 平台上运行,处理采集到的图像信息,并高效、精准地提取出目标物体的特征信息。

2 零件识别原理

本文提出的零件轮廓识别方法,首先通过 Canny 边缘检测方法提取出物体轮廓,最后根据轮廓特征识别物体。

2.1 Canny 边缘检测

本文采用的 Canny 边缘检测算法主要由 3 个部分组成:图像预处理、非最大信号压制处理以及双阈值边缘连接处理。

Canny 边缘检测的实现步骤如下:

(1) 彩色图像转换为灰度图像。由于 Canny 算法往往被用于解决灰度图像,对于彩色图像,需要对其进行灰度化处理。根据人眼对于红、绿、蓝这 3 种颜色光的不同敏感程度,得到了常见的灰度处理公式:

$$Gray = 0.30 * R + 0.59 * G + 0.11 * B \quad (1)$$

(2) 对图像进行高斯模糊。将灰度图像与高斯核进行卷积处理,抑制掉图像中的高频噪声。

(3) 计算图像边缘幅值和角度。使用微分边缘检测算子获取图像边缘的幅值和角度。根据上述的卷积算子,能够推导出图像在两个坐标轴方向的梯度幅值和梯度方向的值为:

$$P[i,j] = \frac{f[i,j+1] - f[i,j] + f[i+1,j+1] - f[i+1,j]}{2} \quad (2)$$

$$Q[i,j] = \frac{f[i,j] - f[i+1,j] + f[i,j+1] - f[i+1,j+1]}{2} \quad (3)$$

$$M[i,j] = \sqrt{P[i,j]^2 + Q[i,j]^2} \quad (4)$$

$$\theta[i,j] = \arctan\left(\frac{Q[i,j]}{P[i,j]}\right) \quad (5)$$

式中: f —图像灰度值; P — X 方向梯度幅值; Q — Y 方向梯度幅值; M —该点幅值; θ —梯度方向,即角度^[20-22]。

(4) 非最大信号压制处理(边缘细化)。为了排除其中不属于边缘的像素点,需要对其进行信号压制,即在已找到的点中找出其局部最大值点,并排除掉非局部最大值点,得到细化后的边缘,精确边缘的具体位置。

(5) 双阈值边缘连接处理。对得到的边缘图像确定一个高阈值,以得到含有较少假边缘的图像。但由于所设置的阈值过大,会排除掉一些真边缘,造成得到的图像边缘并不闭合。因此,需要再确定一个低阈值,得到低阈值的边缘,用于连接图像边缘,使边缘重新闭合。

2.2 轮廓特征提取

轮廓可以认为是一系列边缘的集合,通过组合一系列的边缘来得到一个完整的物体轮廓。本研究运用上述的边缘检测算子来对二值化后的图像进行处理,得到只含有物体边缘的二值图像。之后提取物体轮廓特征,将提取出的轮廓特征与模型物体的轮廓特征进行比较,从而判定该物体轮廓是否符合要求。本文通过比较物体轮廓与目标轮廓的特征来判定该物体是否为目标物体。特征如下:

(1) 轮廓面积 S 。遍历图像中的每一个像素,如果该像素在轮廓中,则面积加一,最后得到轮廓的面积值;

(2) 轮廓周长 C 。通过计算轮廓相邻点之间的距离,并进行累加,最后累加值即为轮廓的周长;

(3) Hu 矩相似度 L 。通过线性组合物体轮廓的二阶和三阶归一化中心矩得到以下 7 个不变矩,其被称为 Hu 不变矩,求取轮廓的 Hu 不变矩^[23],将目标物体 A 的 Hu 不变矩与模型物体 B 的进行比较,得 Hu 矩相似度 L ;

(4) 轮廓最小包围矩形。求取轮廓最小包围矩形后,通过比较该矩形一对邻边的边长 L_1, L_2 、该矩形面积 S_1 和矩形面积与轮廓面积的比值 D_1 ,来判断该物体是否为目标物体。

3 系统硬件及软件设计

3.1 硬件设计

系统硬件平台的搭建主要包括硬件的选型和结构方案的设计。

对于相机,本文选取了德国 basler2500 - 14gm 黑白相机,其传感器类型为 CMOS,并且采用滚动快门,像元的排列方式为面阵,分辨率的大小为 $2\ 592 \times 1\ 944$,帧速率为 14 fps,有不同的触发模式,其具有 GIGE 千兆网接口。对于相机镜头,选择 M1620-MPW2 型号的镜头,接口类型为 C 接口。对于光源,选用型

号 VLHXA30D180R6W-24V 的相机环形光源。

本文搭建的整机系统由:工业相机、相机镜头、光源、运载平台、标定板、个人 PC 等组成。

系统搭建后,通过运行本文设计的软件来进行对物体识别和定位功能的测试。该系统通过软件触发相机,将图像数据经过千兆网线传输到工控计算机中,并进行接下来的处理工作。

3.2 软件设计

本文在 Visual Studio 2013 软件平台下,结合 Qt 与 OpenCV 设计开发了系统软件。系统软件模块功能主要为:控制相机拍摄图像、添加新模型、处理获取的图像用以识别物体、发送识别结果给机械手用以抓取。它主要由图像处理模块组成,其工作原理如下:首先需要为零件识别工作进行前期准备,通过使用图像处理模块添加要识别的新模型。最后,使用图像处理模块识别待检测物体。

软件各个模块的功能分析如图 2 所示。

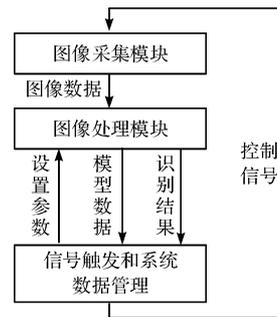


图 2 软件功能分析图

本文设计的图像处理模块主要由 4 个部分组成:图像畸变矫正、图像预处理、轮廓检测以及轮廓特征提取。其模块流程图如图 3 所示。

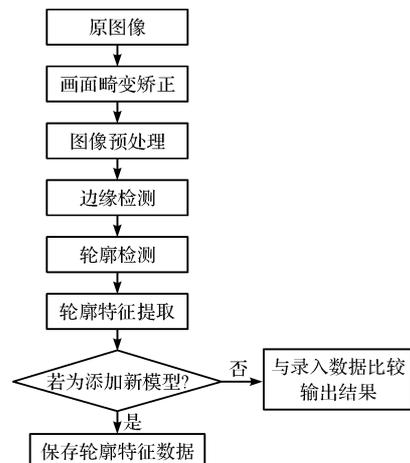


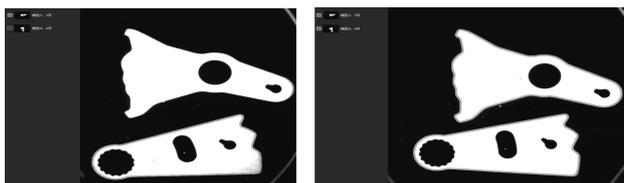
图 3 图像处理模块流程图

4 实验与结果分析

为了验证设计方案及系统的正确性,本文基于研发的硬件和软件,对零件进行了识别检测试验。试验结果如图 4 所示。

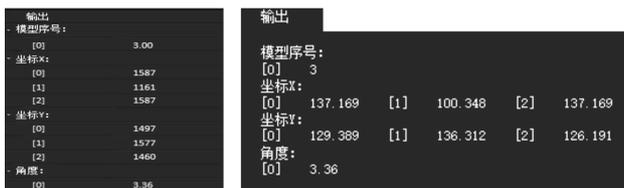


(a) 物体实物图



(b) 识别单个物体

(c) 同时识别两个物体



(d) 输出数据

(e) 实际输出数据界面

图 4 零件轮廓检测的试验结果

首先,对一个物体进行检测试验,得到的检测结果如图 4(b)所示。由图 4(b)可以看出当只勾选其中一个模型时,只有下方的物体被识别出来。其次,对两个物体同时进行检测试验,其识别结果如图 4(c)所示。由图 4(c)可以看出当同时勾选两个模型时,两个物体都被识别出来,达到了对多个零件的识别要求。其中,被识别的物体由绿色线条所包围,物体的重心通过绿点来表示。

图 4(b)的输出数据结果分别如图 4(d,e)所示。其中软件中导入的模型可以有多个,并根据导入的先后顺序进行排序。而模型序号表示被识别物体属于哪一个模型。坐标 X 、 Y 表示物体轮廓的重心坐标。角度表示物体轮廓的最小包围矩形的边与 X 轴所形成的夹角。图 4(d)显示的坐标 X 、 Y 为物体轮廓在图像上的重心坐标,单位为像素。图 4(e)显示的坐标 X 、 Y 为物体轮廓在实际物体所在平面上的重心坐标,单位

为 mm。

测试过程中,对不同位置的物体进行了多次检测,记录了 200 次检测的输出结果,并与目测结果进行对比。

测试数据表明:本系统能够较好实现零件轮廓的检测,满足设计要求。另外,实验中通过调用耗时统计函数 `getTickCount()` 以及 `getTickFrequency()` 对识别过程所耗费的时间进行统计,平均耗时为 0.47 s,满足匹配速度快要求。经过 6 h 不间断的识别检测,系统运行良好,未出现程序崩溃等问题。

5 结束语

针对在传统的工业流水线检测中存在的成本高、检测效率低的问题,本文提出了基于边缘检测的视觉检测方法,设计并实现了基于边缘检测的协作机器人零件轮廓检测系统;该系统能够通过录入模型功能来导入各种物体模型,并以此来对不同角度、不同位置以及多个数量的目标物体进行识别检测。

由实验结果知:本文研发的零件轮廓检测系统能够对工业零件进行识别,识别精度高,能够满足机器人在流水线上工件检测与定位抓取的性能指标要求。与传统的人工检测相比,该检测系统具有准确度高、效率高、成本低等优点。

参考文献 (References):

- [1] 李晓飞. 高速在线机器视觉检测方法的研究[D]. 天津:天津理工大学控制科学与工程学院,2008.
- [2] 夏如艇,金飞翔,王 昕. 基于机器视觉的铁刀检测系统的设计[J]. 机电工程技术,2017,46(11):63-66,132.
- [3] 崔淑平. 基于 OpenCV 的回转体零件表面缺陷检测研究[D]. 保定:华北电力大学能源动力与机械工程学院,2015.
- [4] 许 可. 基于多特征的图像轮廓检测算法研究[D]. 西安:长安大学交通运输工程学院,2014.
- [5] 曾 俊. 图像边缘检测技术及其应用研究[D]. 武汉:华中科技大学控制科学与工程学院,2011.
- [6] 董海燕. 边缘检测的若干技术研究[D]. 合肥:国防科学技术大学信息与通信工程学院,2008.
- [7] 磨少清. 边缘检测及其评价方法的研究[D]. 天津:天津大学检测技术与自动化装置学院,2011.

- [8] 钟鑫,付俐.一种基于Canny算法的自适应边缘提取方法[J].科学技术与工程,2007,7(16):4067-4069.
- [9] 王小俊,刘旭敏,关永.基于改进Canny算子的图像边缘检测算法[J].计算机工程,2012,38(14):196-198,202.
- [10] 陈丹丹.序列图像中手势识别技术研究[D].沈阳:东北大学信息科学与工程学院,2012.
- [11] 郎瑶.一种改进的Sobel边缘检测算子[J].广西轻工业,2011,27(5):59-60.
- [12] 张建军,罗静.基于改进Sobel算子的表面裂纹边缘检测算法[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2011,34(6):845-847,960.
- [13] 王冠,丁友东,魏小成.基于改进Sobel算子的文物图像检索[J].计算机技术与发展,2011,21(10):51-54,58.
- [14] 袁春兰,熊宗龙,周雪花,等.基于Sobel算子的图像边缘检测研究[J].激光与红外,2009,39(1):85-87.
- [15] 孙增国,韩崇昭.基于Laplacian算子的图像增强[J].计算机应用研究,2007,24(1):222-223,240.
- [16] 万军,徐汀荣.基于Laplacian算子的图像边缘检测方法研究[J].现代电子技术,2004,27(21):92-93,96.
- [17] 张彦超.基于边缘和颜色特征的图像检索技术研究[D].武汉:武汉理工大学计算机科学与技术学院,2010.
- [18] 王雪,李伟,王伟.数字图像处理中边缘检测算子优缺点探讨[J].科技创新导报,2011(16):14-15.
- [19] 樊娜,李晋惠.图像边缘检测的Prewitt算子的改进算法[J].西安工业学院学报,2005,25(1):37-39,44.
- [20] 霍冠英,王敏,程晓轩,等.用于侧扫声纳图像边缘检测的改进Canny算子[J].应用科学学报,2011,29(6):613-618.
- [21] HANNAT M, ZRIRA N, RAOUI Y, et al. A fast object recognition and categorization technique for robot grasping using the visual bag of words[C]. 2016 5th International Conference on Multimedia Computing and Systems, Marrakech:IEEE,2016.
- [22] 李光梅,苟岩岩,刘果玲.易拉罐空罐缺陷智能检测气流的设计[J].包装与食品机械,2017(6):33-36.
- [23] 王晨,庞全.基于轮廓的血细胞图像拼接算法的设计与实现[J].机电工程,2009,26(11):44-47,86.

[编辑:张豪]

本文引用格式:

许鑫杰,王秀锋,鲁文其,等.基于边缘检测的零件轮廓识别系统开发[J].机电工程,2019,36(2):201-205.

XU Xin-jie, WANG Xiu-feng, LU Wen-qi, et al. Development of part contour recognition system based on edge detection[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2019,36(2):201-205.

《机电工程》杂志;<http://www.meem.com.cn>