

视觉机器人作业路径规划系统

徐顺清, 何坚强

(盐城工学院 电气工程学院, 江苏 盐城 224003)

摘要: 针对工业机器人的弧焊、切割和涂胶等应用, 介绍了视觉工业机器人作业路径规划系统。描述了摄像机坐标标定方法, 采用图像采集技术获取环境信息, 运用图像处理技术对采集的信号进行处理, 实现了机器人实时控制和离线编程。实践证明, 该系统重复精度高, 能够满足弧焊、切割和涂胶的要求, 能够适应生产线的需要。

关键词: 机器视觉; 图像处理; 工业机器人; 路径规划

中图分类号: TP242.6

文献标识码: A

Operational path planning system of vision robot

XU Shun Qing, HE Jian Qiang

(College of Electrical Engineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224003, China)

Abstract: Operational path planning system of visual industrial robot is introduced in this paper, which could be applied to arc welding, cutting and gluing. It depicts a calibration method of camera coordinate, gains environmental messages via the method of image acquisition and uses the method of image procession to process the signals acquired. It fulfills robotic real-time control and offline programming. Practice has proved that this system has high repeatability precision, which can meet the challenges of arc welding, cutting and gluing, and also can meet the needs of production line.

Key words: machine vision; image processing; industrial robot; path planning

机器人自问世以来, 已经被广泛地应用于各个工业领域, 例如焊接、搬运、装配和喷涂等^[1]。不过这些应用大多基于示教再现和离线编程。示教再现过程机器人利用率低, 示教再现的精度也不高。离线编程是采用 CAD 技术建立起机器人及其工作环境的几何模型, 通过算法在离线的情况下进行作业路径规划, 对于复杂的作业路径, CAD 模型的建立存在一定的难度。而视觉机器人作业路径规划系统能够及时采集机器人工作环境信息, 实现对机器人的实时控制, 提高了机器人工作效率。同时, 该系统能够自动生成机器人控制文件, 不需要 CAD 技术的支持, 增强了机器人系统的灵活性和适应性。

1 系统构成及工作原理

机器人作业路径规划系统是在 Motoman UP6 工业机器人系统上做二次开发的。CCD 摄像机采集到

外部环境的图像信息, 系统通过采集卡实现对图像的获取, 获取图像后, 通过图像的增强、滤波、边缘检测、细化等处理技术对图像信息进行分析处理和重建。系统对这些处理后得到的数据进行实时计算, 计算出图像中作业对象的特征点的位置信息。对获取的特征点信息, 系统有两种功能, 一是通过 Motocom32 的库函数与机器人通信, 实现对机器人的实时控制, 完成指定作业; 另一功能是快速生成机器人控制文件, 并可对文件编辑修改, 当把这些文件导入机器人控制柜后, 则可控制机器人完成指定作业。

2 系统软硬件组成

整个系统由 2 个子系统组成, 一个为工业机器人系统, 另一个为机器视觉系统。2 个子系统通过软件平台进行通信。具体构成如图 1 所示。

图形、图像及多媒体

Image Processing and Multimedia Technology

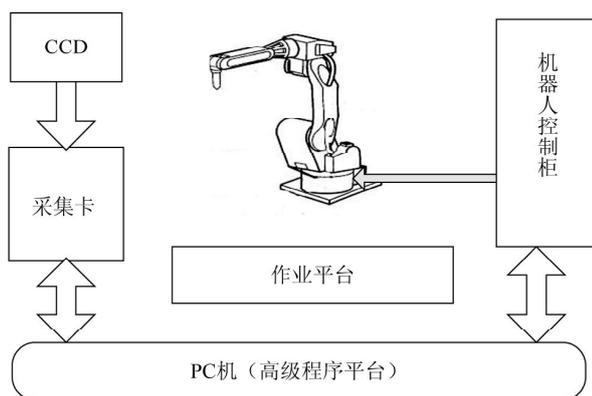


图1 具有视觉功能系统的工业机器人的结构原理图

2.1 工业机器人系统

工业机器人系统包括有 Motoman UP6 工业机器人本体、YASNAC-XRC-UP6 机器人控制柜、示教编程器和相关的外部设备以及与计算机进行数据通信的软件 Motocom32。其中，机器人本体具有 6 个自由度，各个关节均为旋转关节，各自由度由交流伺服电机驱动，其重复定位精度可达 0.08 mm。

2.2 机器视觉系统

机器视觉系统主要设备有 M0814-MP 镜头、CV-A11 摄像机、PC2-Vision 图像采集卡以及计算机等。

(1) CV-A11 摄像机及镜头

选择的摄像机是丹麦 AVI 公司生产的 CV-A11 摄像机。摄像机线扫描频率为 37.5 kHz，其 CCD 总像素为 659 × 494，摄像机信噪比大于 56 dB，工作电压为 12V ± 10%，外形尺寸为 29mm × 44mm × 66mm，镜头接口为 C-mount 接口。镜头为日本 computar 公司的 M0814-MP 镜头，镜头焦距为 $f=8$ mm，焦点手动控制，成像适合设计的要求。

(2) 图像采集卡

图像采集卡选用加拿大 CORECO 公司生产的 PC2-Vision 图像采集卡。该图像采集卡自带 8 MB 存储器用于图像序列的存储，通过高速 PCI 总线可实现直接采集图像到 VGA 显存或主机系统的内存，兼容 RGB、RS-170/CCIR 等视频格式，可采集标准彩色复合视频和 RGB 分量，能够同时采集 6 个黑白摄像头、2 个 RGB 摄像头或 2 个双通道模拟摄像头图像；支持外部事件出发输入，支持显示分辨率 2 048 × 2 048，具有 3 个 8 位 40 MHz A/D 转换器。

3 系统的软件实现

根据系统的功能要求，本文应用 VC++6.0 编制了系统实现的软件程序，程序设计采用模块化设计方式。系统在完成硬件检测、系统初始化等工作后实现机器人路径规划，整个系统可分为摄像机标定、图像获取与图像处理、机器人运行控制等功能模块。软件实现基本流程如图 2 所示。

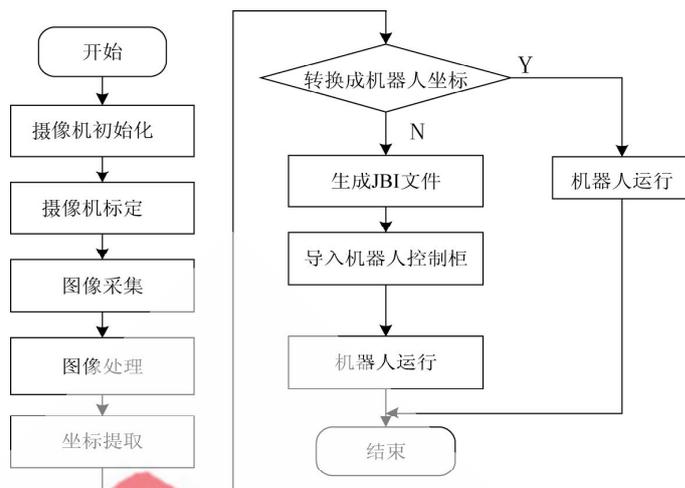


图2 系统软件流程图

3.1 摄像机的标定

在系统进行坐标提取前，必须对摄像机进行标定，以建立摄像机与实际空间点的对应关系。在基于机器视觉的机器人路径规划系统中，存在着 3 个坐标系：机器人坐标系、平台坐标系和图像坐标系。其中图像坐标系是以图像左上角为原点，以像素为单位的直角坐标系， x 、 y 轴分别表示该像素在数字图像中的行数与列数。为了在视觉系统中建立统一的坐标，确定图像上某轮廓点与实际图形点的对应关系，就需要建立图像坐标系与机器人坐标系、平台坐标系与机器人坐标系两者之间坐标转换关系，最终将平台坐标和图像坐标统一在机器人坐标系下。图像像素坐标系中的点到世界坐标系的变换可用矩阵表示为：

$$S \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & t_3 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix}$$

式中， (X, Y) 是一个点的机器人坐标， (u, v) 是点投影在图像平面的坐标，以像素为单位，2 个矩阵参数分别为摄像机的内参数和外参数，内参数 (c_x, c_y) 是基准点（通常在图像的中心）， (f_x, f_y) 是以像素为单位的焦距；旋转矩阵 R 和平移向量 t 描述了摄像机在世界坐标系中的方位，称为摄像机外部参数。通过对矩阵求逆解，可以求出像素点在机器人坐标系中的坐标点。

3.2 图像采集

计算机调用图像采集卡的动态链接库函数 $VnImgCon.dll$ 中相应的控制函数，来控制图像采集卡对摄像机摄取的视频信号进行数据采集，以 BMP 格式存储在计算机内。通过调用采集卡自带库函数采集一帧图像到内存，然后回显到屏幕。在程序中调用了以下函数：

GetSrc：得到指向被用作连接图像源对象的指针。

图形、图像及多媒体

Image Processing and Multimedia Technology

IfxCreateCaptureModule: 创建一个图像捕捉的对象。

GetCam: 使摄像机对象指针为指定端口。

GetAttr: 返回摄像机基本采集参数。

IfxWriteImgFile: 保存图像文件。

3.3 图像处理

系统摄像机所采集的图像为 BMP 格式的位图文件, 为了在图像处理部分中能将注意力集中在图像处理的算法实现上, 而不被 DIB 的显示与操作等底层处理所干扰, 建立一个比较完整的 DIB 类库, 主要实现三大功能: 位图操作的基本函数, 包括对像素点的操作、位图相关的信息和位图占据内存空间的信息。在进行图像处理编程时, 只需在文档类的头文件中加入 CDib 类的定义, 通过该类提供的公有型(public)接口函数调用, 即可实现与之相关的功能。在此类库的基础上, 对图像进行处理, 包括图像的平滑和去除噪声等图像预处理, 选定灰度阈值对图像进行二值化处理, 对图像进行细化, 计算图像中的特征量, 实现空间定位。图像处理的函数主要有以下几个:

图像二值化:

WindowTrans(lpDIBBits, ::DIBWidth(lpDIB), ::DIBHeight(lpDIB), m_bLow)

调用函数进行细化:

ThiningDIB(lpDIBBits WIDTHBYTES(::DIBWidth(lpDIB)*8), ::DIBHeight(lpDIB))

求坐标:

PointDIB(lpDIBBits, ::DIBWidth(lpDIB), ::DIBHeight(lpDIB), point, dian, mm);

程序进一步对图像进行处理, 得到图像的边缘特征, 处理后的图像如图 3 所示, 最终求得图形位置坐标。

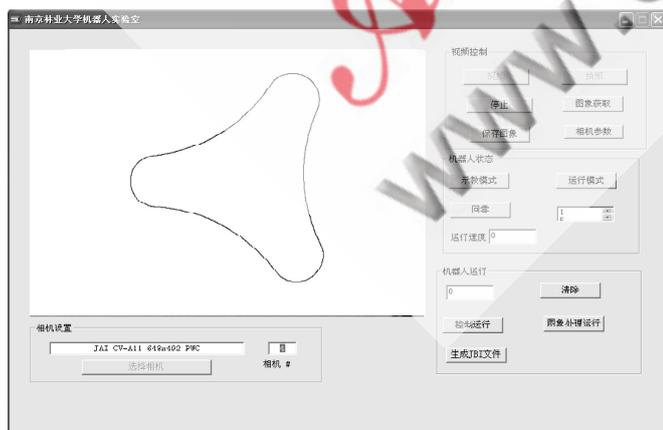


图 3 图像处理

3.4 机器人运行控制

获取机器人坐标点后, 计算机根据坐标点信息, 进行运动决策, 产生相应的机器人运动控制指令, 并通过 Motocom32 软件提供的库函数对机器人进行远程控制, 实

现对特征点的自动定位, 控制机器人进行相应的操作, 完成作业轨迹。机器人实时控制的流程图如图 4 所示。

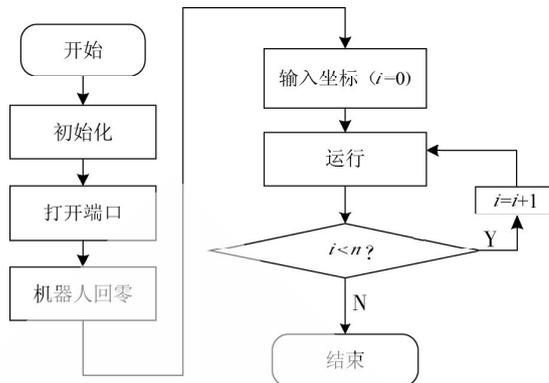


图 4 机器人运行控制流程图

视觉机器人作业路径规划系统把 CCD 获取的作业路径图像信息转化为机器人运动的控制指令, 使机器人完成作业任务。为验证这一“转化”, 以机器人的连续切割作业为例, 将其付诸实施。具体实施方案如下: 以平板玻璃台面作为切割对象, 以白板笔当作割枪, 以机器人绘制曲线的过程来模拟实际切割作业过程。实验结果如图 5 所示。

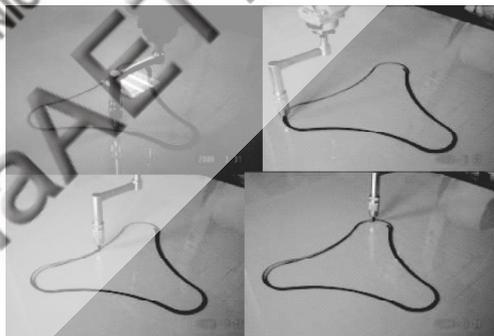


图 5 切割模拟过程

由图 5 可以看出, 该方案重复精度高, 误差较小, 能够满足生产的需求, 同时也提高了系统自动化程度, 节省了人力物力。

参考文献

- [1] 吴立德. 计算机视觉[M]. 上海: 上海复旦大学出版社, 1993.
- [2] 凌云光视数字图像公司. CCD&CMOS 图像和机器视觉产品手册.
- [3] 章毓晋. 图像工程上册: 图像处理和分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [4] 孙树栋. 工业机器人技术基础[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2006.
- [5] VERNON D. Machine vision in the electronics and PCB inspection industry - The current position and future directions. Department of Computer Science Maynooth College, Ireland. 2001.

(收稿日期: 2009-05-11)