

机器人视觉在自动装配线中的应用

郑时雄 刘桂雄 阎 华 温伟成
(华南理工大学机电工程系 广州 510641)

摘要 机器人视觉系统的几个基本问题(包括图像滤波、边缘识别和工件位姿的确定等)进行了分析,并在此基础上,根据装配作业的要求,提出一套简单实用的机器人视觉系统。该系统经过实际运行,达到了一般装配作业的实时性和精度要求。

关键词 机器人 视觉系统 自动装配

1 引言

机器人视觉一般指与机器人配合操作的工业视觉系统。把视觉系统引入机器人以后,可以大大地扩大机器人的使用性能,帮助机器人在完成指定任务的过程中,具有更大的适应性。机器人视觉除要求价格经济外,还具有对目标有好的辨别能力、实时性、可靠性、通用性等方面的要求。近年来对机器人视觉的研究成为国内外机器人领域的研究热点之一,也陆续地提出许多不同提高视觉系统性能的方案^[1-4]。当然这也都不可避免地要对视觉系统本身及计算机处理数据的能力提出更高的要求,尤其是要达到实时控制的目标,更增加了困难。

在本文中,作者将对机器人视觉系统的几个基本问题(包括图像滤波、边缘识别和工件位姿的确定等)进行了分析,并在此基础上,针对装配作业的精度和运算速度要求,提出一套简单实用的机器人视觉系统。

2 用于装配作业的机器人视觉系统

作者采用的机器视觉系统(框图如图1所示),它以 CCD 器件作为获取图像的手段。论文中将以 SONY SRX-4CH 型 SCARA 机器人抓取一个典型的六角螺母为例,说明系统的工作原理。

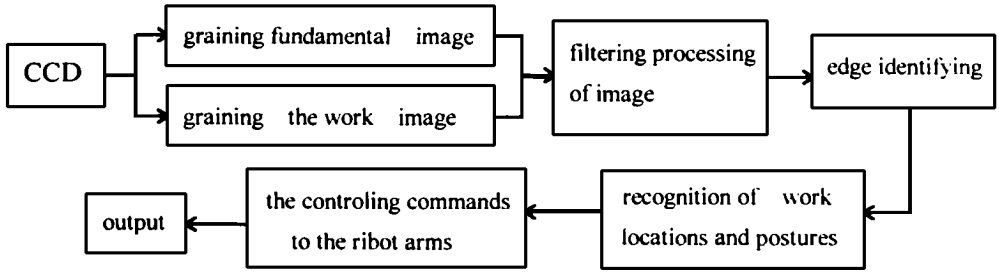


Fig. 1 Schematic diagram of robotics vision system

由于目标工件的位姿是通过机器人视觉系统获得的,它与机器人的坐标系统没有任何物理上的联系,因此,必须建立这种联系使识别出来的工件坐标能够转换到机器人底座的坐标系去。我们在工件所在的工作平面上设置两个标记点 A 和 B(如图2所示),通过机器人控制器把手末端分别调定到这两点上,使 A 和 B 两点在机器人坐标系中的坐标得以预先设定,在识别过程中,将首先识别出这两点,然后再识别工件。标记点的形状采用一个空心圆,这是考虑到一方面容易和噪声的黑点区别出来,另一方面可以比较准确地获得中心点位置。

2.1 图像滤波处理

实际观察到的图像信号,在其摄取、形成和处理过程中不可避免地受到各种干扰,从而在图像中混入随机噪声。为了提高图像质量,减少识别误差,必须进行滤波处理。本系统采取两个步骤进行滤波。

(一) 两幅图相加减

首先在工作区域内摄取一幅不包括标记点 A、B 在内的图像,并储存在计算机内作为基本图像。这幅图像应在与实际工作条件相同的情况下获得,即包括相同的光源位置、方向、强度和摄像机的位置、焦距、光圈等。实际作业时,获得另一幅包括标记点和工件在内的图像。然后在计算机中把两幅图像相减,这样得到的图像将会有很好的降噪声效果,消除了大部分噪声干扰。

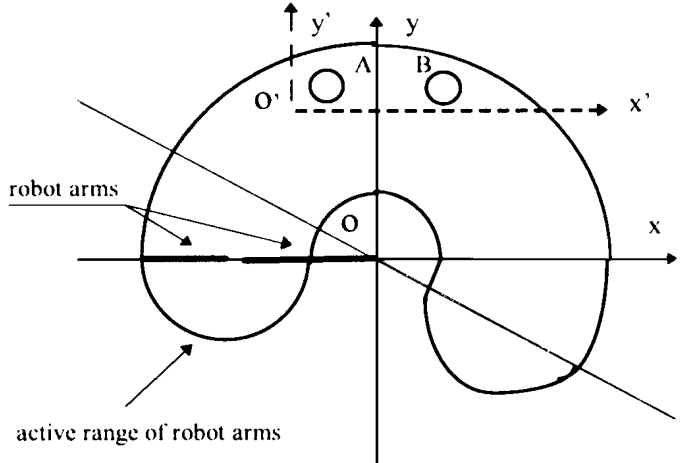


Fig. 2 The range of robot arms

(二) 进行中值滤波处理

图像滤波是一个很早就进行研究而又相当困难的问题。从经典的线性滤波到非线性中值滤波,以及在这个基础上发展出来的各种滤波方法,例如基于 M 估计, L 估计, R 估计而建立的 M 型、L 型、R 型滤波器等,都各具优点,同时也存在一定局限性。本文不拟在这里多作分析,考虑到工程实用问题,对常用的几种滤波器的处理作了一些比较。在 IBM 486DX /80 微机上,对一幅 400×285 像素的图像以三种滤波方式进行处理所需时间如下:

repetitive times	median filtering	M type filtering	L type filtering	time: second
1	1	59	87	
3	2	176	260	
100	65	5840	8620	

从上表可知,在机器人视觉系统中,采用M型、L型滤波器所需处理的时间相当长。为了达到实时控制的目的,本系统采用了中值滤波方式。中值滤波器广泛的应用在图像信号和语言信号处理。设观察信号样本的序列为:

$$x(i) = s(i) + n(i) \quad \forall i = Z$$

这里, $s(i)$ 是信号在 i 位置的值, $n(i)$ 是噪声, 而 Z 是整数集合。于是信号均值和方差为:

$$m_x = \frac{1}{2N+1} \sum_{i=K-N}^{K+N} x(i); \quad V_x = \frac{1}{2N+1} \sum_{i=K-N}^{K+N} (x(i) - m_x)^2$$

上式中 N 是观测样本数。

当滑动滤波窗沿观察序列 $x(i)$ 移动时, 每移动一个样本点, 就得出一个输出的估计值 $\hat{x}(i)$, 把 $\hat{x}(i)$ 和窗中心位置的观察样本值 $x_k(i)$ 之差作为噪声估计值 $\hat{n}(i)$, 相应地噪声的局部统计特征如下:

$$m_n = \frac{1}{2M+1} \sum_{i=K-M}^{K+M} \hat{n}(i); \quad V_n = \frac{1}{2M+1} \sum_{i=K-M}^{K+M} (\hat{n}(i) - m_n)^2$$

上式 M 是噪声估计样本数。

根据方差值可以得到表达信号变化特征的指示因子 r 及信号的平均变化率 T_K ;

$$r = \max\{V_x - V_n, 0\}; \quad T_K = \frac{V_x}{2N+1}$$

再定义一个滤波修正因子: $r_1 = \frac{V_n}{V_x}$, 于是得到中值滤波算法为:

$$Y_K = \begin{cases} MED\{x(i)\} + r_1(x_{MED} - x_{MEN}) & r > T_k \\ MEN\{x(i)\} + r_1(x_{MED} - x_{MEN}) & r \leq T_k \end{cases}$$

这里 MED 和 MEN 分别表示对观察窗内所有样本取中值和取均值, 而 x_{MED} 和 x_{MEN} 则表示中值和均值的滤波输出。当信号本身变化 r 大于观察样本的变化率 T_K 时, 说明滤波窗内有边缘信号, 取中值计算可以充分发挥滤波器保持边缘的优越性; 而在信号平坦区, 即使有干扰脉冲, 也能够满足 $r \leq T_K$, 使滤波修正因子 $r_1(x_{MED} - x_{MEN})$ 很好地调整滤波器的输出。

2.2 工件位姿的识别

经过滤波处理的图像, 在计算机上进行边缘识别。图像中的边缘可定义为空间变量 X 、 Y 相关的灰度函数的跃变, 因此提取边缘最直接的方法就是利用灰度的突变, 计算二阶导数的零点。但是由于受噪声的影响, 以致可靠性较差, 同时计算速度也影响其实用性。

使用平滑技术可以降低图像的噪声, 但同时也使图像模糊, 导致定位精度降低。因此有各种不同方法, 试图解决这方面的矛盾。而比较常用的是采用高斯函数或近似于高斯函数作为平滑函数:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}}$$

其中 σ 称为空间系数, 它在平滑过程中起着重要作用。 σ 越大, 平滑性越好, 而 σ 越小, 则为精度越高, 所以合理地选择 σ 是很重要的。

并非所有二阶函数的过零点都对应该真的阶跃边缘点, 其中可能有些点是属于虚边上的。因此, 必须把虚边去掉, 才能提取真实边出来。为了解决这个问题, 下面引入两个函数: ① 函数 $f(x)$ 边的对比度, 是该函数一阶导数的绝对值: $C(x) = |f'(x)|$; ② 函数 $f(x)$ 边的强度, 是其对比度的平方: $S(x) = |f'(x)|^2$ 。

根据上面的定义, 可以推得: 如果虚边位于两真实边之间, 则其对比度必小于相邻的任一实边的对比度; 虚边的强度正比于高斯空间常数 σ , 而实边强度则反比于 σ 。因此, 利用上述结果, 计算边的强度, 考察其变化趋势, 就可以去掉虚边, 保留其实边。识别出图像边缘后, 再根据工作图像的轮廓, 确定工件的位置和姿态。

本系统以六角螺母为例进行研究, 机器人通过视觉系统, 要确定螺母的两个参数: ① 位置, 即六角形中心相对于左标记点 A 的坐标, 使机器人手末端能够移动到螺母中心上面; ② 姿态, 即六角形轮廓相对于视觉系统坐标的方位角。根据方位角, 使装在机器人手末端上的夹爪转过一定角度, 和六角形的其中一对边平行, 以便抓取工件。

为此, 计算机图像轮廓进行搜索, 其搜索过程如下:

① 计算机按照一定方位对图像的边缘逐步扫描, 当发现第一个点的时候, 这可能是六角形的一个顶点, 也可能仅仅是噪声或零点漂移引起的点。为了确证这个点的真伪, 采取了下面的方法: 从这一点开始, 沿着六角形的边缘向两边搜索。如果这一点是噪声, 那么经过若干步以后, 就不会再发现边缘了。为了更进一步确证这一点是一个顶点, 再加上原来假设的顶点, 组成一个三角形, 其夹角应为 120° 。只要计算出这个角度(可以事先设定一个偏差值), 就可以确认为顶点;

② 确认是顶点后, 继续沿着六角形轮廓单向搜索, 每走一步, 得到新的一个点的坐标, 并计算出从顶点到这点的距离。当搜索到对面的顶点时, 距离应达最大值, 由此确定对面顶点的坐标;

③ 根据先后两顶点坐标, 计算出中点坐标, 这就是六角形轮廓的中心;

④ 根据两顶点坐标, 计算其联线的斜率, 即可确定六角轮廓的方位。

2.3 逆运动学求解机器人关节量及其优化

识别出目标工件的位置和姿态后, 要经过逆运动学求解, 得到各关节的转动角度, 然后把角度数据输入机器人控制器, 驱动机器人手末端轴到指定位置。在这之前, 必须先进行两步转换, 即: 由于识别出的工件在工作面的单位是像素, 而不是毫米, 因此必须通过转换因子把它们换算成毫米; 把工件位姿数据从工作面坐标系 $(x_0 y_0)$ 转换到机器人坐标系 (xoy) , 得到工件中心位姿的坐标数据 (x, y, θ) 。

逆运动学求解和机器人结构有关。本系统所用机器人 SONY SRX-4CH 型的结构参数如下: 第一臂 $L_1 = 350\text{mm}$, 第二臂 $L_2 = 250\text{mm}$; 三个关节角度的许用范围是: $\theta_0 = 0 - 220^\circ$; $\theta_1 = \pm 150^\circ$; $\theta_2 = \pm 180^\circ$ 。

通过数学推导, 各关节变量求解公式如下:

$$\theta_1 = \arccos \frac{cx \pm y \sqrt{x^2 + y^2 - c^2}}{x^2 + y^2}; \quad \theta_2 = \arcsin \frac{-cy \pm x \sqrt{x^2 + y^2 - c^2}}{x^2 + y^2}$$

这里:

$$c = \frac{L_2^2 - L_1^2 - x^2 - y^2}{2L_1}; \quad \theta_2 = \arccos \frac{-L_1 \cos \theta_1 - x}{L_2} + \theta_1$$

$$\theta_2 = \arcsin \frac{-L_1 \sin \theta_1 + y}{L_2} + \theta_1; \quad \theta_3 = \theta_1 + \theta_2$$

上面所得到的角度不止一个,需首先根据结构参数的许用范围,剔除超出许用范围的角度值,但是仍会出现多解的情况。因此,就有一个优化问题。本系统从机器人动作的实时性要求出发,以第一关节量 θ_1 最小为优化准则。

3 实验结果及结论

本系统以抓取一个六角螺母为例,进行实际操作,实验结果如下:整个识别过程在1.5s左右完成,工件位姿最大误差为: $X_{\max} = 2.3\text{mm}$, $Y_{\max} = 2.3\text{mm}$, $\theta_{\max} = 2.4^\circ$ 参照文献[1]的数据,可以满足一般装配作业的要求。

因此,本论文所研究的机器人视觉系统具有简单实用的特点,它可以满足一般装配作业的实时性和精度的要求;所提出的滤波方法是可行的,取得较好的效果;整个系统的软件设计采用了纯图形界面,使用简单方便,而且需要增加系统功能时,也很容易进行更改。

参 考 文 献

- 1 John Prelove. Stereo Vision, Crossing the Is and Dotting the Ts. *Industrial Robot*, 1994, 21(2): 24 ~ 47
- 2 Vilesoma S W, Rolfe D F H, Richards R J. Eye-to-Hand, Coordination for Vision-guided Robot Control Applications. *The Int J of Robotics Research*, 1993, 12(1): 65 ~ 78
- 3 Chen W Z, Korde U A, Skaar S B. Position Control Experiments Using Vision. *The Int J of Robotics Research*, 1994, 13(3): 199 ~ 208
- 4 Deriche R. Fast Algorithms for Low-level Vision. *IEEE Trans. on PAMI-12*, 1990, 78 ~ 87

Applications of Robotics Vision System in Automatic Assembly

ZHENG Shi-Xiong, LIU Gui-Xiong, YAN Hua, WEN Wei-Cheng

(*Dept. of Mechatronics Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641*)

Abstract

Several basic problems including image filtering, boundary recognition and determination of part position and part posture are discussed in this paper. According to the requirements of automatic assembling, the authors present a simple and practical robotics vision system which has been tested and verified to meet the real time requirement and accuracy of assembling operations.

Key words: Robotics, Video system, Automatic assembly

郑时雄 男, 1939年出生, 现为华南理工大学机电工程系教授、博士生导师, 多年来从事机器人技术及自动化研究, 有多项科研成果获得省部级奖, 出版专著3本, 发表学术论文60多篇。