

文章编号: 1002-0446(2000)03-0183-05

融合图像处理与超声测距的工件精确抓取

熊春山 黄心汉 王 敏 彭 刚

(华中理工大学控制科学与工程系 武汉 430074)

摘 要: 图像处理给出工件的形心在图像的位置与姿态, 利用本文提出了一种简单与高精度的映射算法, 求出形心在机器人参考坐标的位置, 引导超声波距离测量仪测量到工件的正上方测量工件的深度数据. 融合图像处理给出的形心的位置与姿态和超声波测量得到工件深度数据, 获得机器人的控制输入向量, 控制机器人运动并实现精确抓取工件. 图像处理的低误差与超声波的高精度深度测量, 获得了工件抓取的高精确度.

关键词: 边缘; 角点; 超声波; 多传感器数据融合

中图分类号: TP24 文献标识码: B

1 引言

机器人的研究正方兴未艾, 现代商业与生产的国际性竞争正在加剧, 生产行业对利用多功能和柔性机器人来生产客户驱动型、小批量、多品种、费用低的产品特别感兴趣, 传统的按照事先编制好的程序或按事先教好的工业机器人, 只能从事一些简单重复的工作, 对环境没有自适应能力, 不能满足这种要求. 基于多传感器的机器人通过感知器感知外界环境, 并与它所处的环境进行交互, 具有一定的智能^[1]. 本文讨论了利用图像处理, 获取工件在图像平面中的位置与方位, 融合机器人的末端执行器的位置, 计算出工件在机器人工作平面上的位置与方位. 依据位置信息机器人引导末端执行器上的超声波对工件进行深度测量. 融合图像处理与超声测距得到的数据, 得到精确抓取工件的机器人控制输入, 对工件进行精确抓取. 本文以机器人 MoveMaster-EX 完成工业装配任务为例, 实现了这种融合图像处理与超声测距的工件精确抓取算法与控制, 可以快速、准确地抓取各种不同形状与大小的工件.

2 机器人融合系统硬件构成

机器人融合系统硬件主要由 MoveMaster-EX 机器人、CCD 摄像头、超声波测距仪、机器人控制柜、控制计算机、图像采集卡、智能接口等组成(如图 1 所示). MoveMaster-EX 机器人是 5 自由度控制(X, Y, Z, ϕ, φ)输入, 其中(X, Y, Z)为末端执行器在机器人参考坐标系中的位置, ϕ 为绕 Z 轴的旋转角, φ 为绕 X 轴的旋转角. CCD 摄像头、超声波测距仪的发射与接收探头均固定安装于机器人的末端执行器上, 随末端执行器一起运动. CCD 完成工件图像的获取, 以得到工件在图像中的位置与姿态. 工件的深度信息要通过超声波测距仪来获取. 控制计算机实现图像与超声测距数据的融合算法, 发送控制向量给机器人控制柜以控制机器人的运动, 完成工件的精确抓取.

基金项目: 国家自然科学基金项目(69585003)和国家 863 智能机器人子项目(863-512-20-01-9801)资助.

收稿日期: 1999-07-15

3 工件定位与定姿态

要正确抓取工件, 机器人要事先获得工件在机器人参考坐标系中的位置与姿态; 同时, 超声波测取工件深度数据时, 超声波测距仪应在工件的形心的正上方, 这也要求得到工件的位置.

3.1 确定工件相对于图像坐标系的位置

确定工件中心点位置的方法可利用图像的一阶矩及零阶矩求得. 具体公式如下^[2]:

设有图像 $f(i, j)$, 其原点 $(p+q)$ 阶矩为

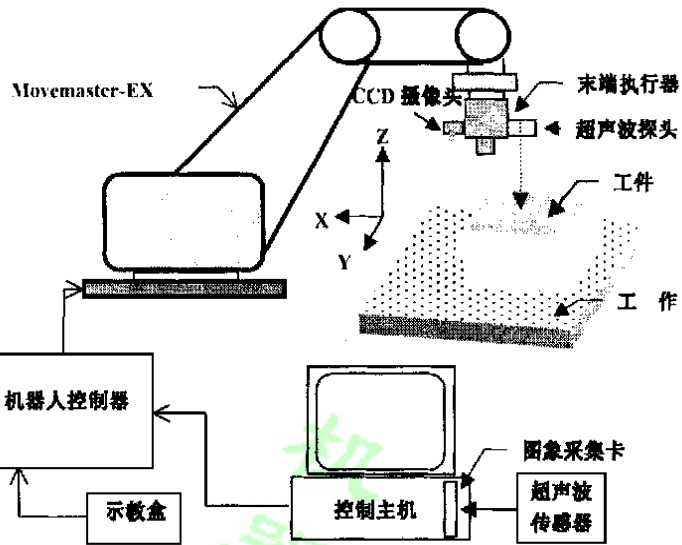


图1 融合图像处理与超声测距的机器人系统

$$m_{pq} = \sum_x \sum_y x^p y^q f(i, j)$$

图像面积即为物体区域内像素的数目为原点的零阶矩即: m_{00} .

形心坐标 (c_x, c_y) 为

$$c_x = m_{10}/m_{00}, \quad c_y = m_{01}/m_{00} \tag{1}$$

3.2 确定工件相对于图像坐标系的姿态

工件的姿态决定了机器人抓取工件的姿态. 确定工件的姿态较为复杂与困难, 常用以下三种方法: (1)应用工件投影的惯性矩定姿态; (2)相关法; (3)极编码法. 本系统采用第一种方法. 以工件惯性主轴与 X 轴正方向的夹角表示工件的偏转方向. 如图 2 所示, 设工件密度为 $f(x, y)$, S 代表整个工件面积, 其形心为 O , 为 \vec{x} 轴正方向. 则工件对过原点直线 $y = x \cdot \text{tg}\theta$ 的惯性矩为^[7]

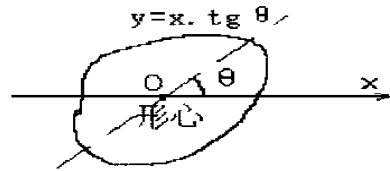


图2 工件的姿态

$$m_\theta = \iint_S (x \sin\theta - y \cos\theta)^2 f(x, y) dx dy \tag{2}$$

图像 $f(x, y)$ 的 $(p+q)$ 阶中心矩为

$$M_{pq} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (i - X_C)^p (j - Y_C)^q f(i, j) \tag{3}$$

式(2)可写为

$$M_\theta = M_{20} \sin^2\theta - 2M_{11} \sin\theta \cos\theta + M_{02} \cos^2\theta \tag{4}$$

将(4)式对 θ 微分并令结果为零可得

$$(M_{20} - M_{02}) \sin 2\theta - 2M_{11} \cos 2\theta = 0$$

因为 $\text{tg} 2\theta = 2 \text{tg}\theta / (1 - \text{tg}^2\theta)$, 可得

$$\text{tg}^2\theta + (M_{20} - M_{02}) \text{tg}\theta / M_{11} - 1 = 0 \tag{5}$$

方程(5)的两根为

$$\begin{aligned}\theta_1 &= \arctg\left(\frac{-b + \sqrt{b^2 + 4}}{2}\right) \\ \theta_2 &= \arctg\left(\frac{-b - \sqrt{b^2 + 4}}{2}\right)\end{aligned}\quad (6)$$

其中 $b = \frac{M_{20} - M_{02}}{M_{11}}$. 为保证惯性矩 m_{θ} 总取最小值, 由极值定理: 当 $M_{11} > 0$, 取 $\theta = \theta_1$; 当 $M_{11} < 0$, 取 $\theta = \theta_2$.

当 $M_{11} = 0$, 表示工件有两根或两根以上的对称轴. 对于这种情况, 考虑到求取工件的姿态是为了给机器人抓取工件提供确定手爪姿态的参考信息, 作如下处理:

若工件有两根对称轴, 如椭圆, 可取其最大半径的方向作为工件的偏转方向. 若工件有两根以上的对称轴, 如多边形, 可取其最小半径的法向作为工件的姿态.

4 融合图像处理的超声工件深度测量

机器人要正确抓取工件, 必须事先测量出到工件表面离末端执行器的高度和工件的自身深度值. 但在超声波工件深度测量前, 首先应将超声波探头引导到工件的形心的正上方, 为此应将(1)式给出工件形心在图像坐标中的位置映射为机器人的工作坐标系中的位置.

4.1 工件超声波深度测量点的获取

已有大量的文献讨论了手-眼视觉系统映射到机器人的工作坐标系的方法, 这些算法在计算复杂性与精确性之间很难平衡^[3], 本文提出了一种计算非常简单并且精确度非常高的映射方法. 设工件在机器人参考坐标系为 P_0 , 在末端执行器的参考坐标系为 cP , 在图像参考坐标系为 eP , P_{e0} 为末端执行器在机器人参考坐标系中的坐标. 则有

$$\begin{aligned}P_0 &= {}^0R_e {}^eP + P_{e0} \\ {}^cP &= {}^cP_e {}^eP + P_{e0}\end{aligned}$$

由上两式可得

$$P_0 = {}^0R_e {}^cR_c {}^cP + P_{e0} + {}^0R_e P_{e0} \quad (7)$$

CCD 摄像头是固定安装于末端执行器上, 因而 P_{e0} 为固定值, 若保持末端执行器的高度不变(或工件的大小相对于高度而言非常小)则可使摄像头到末端执行器的转换矩阵 cR_c 保持不变. 若能使 0R_e 不随着末端执行器位置的改变而改变, 则视觉坐标映射到机器人的参考坐标将简化为

$$\begin{aligned}P_0 &= {}^0R_e {}^cR_c {}^cP + P_{e0} + {}^0R_e P_{e0} \\ &= R_e {}^cP + P_{e0} + P_{\alpha}\end{aligned}\quad (8)$$

当末端执行器移动到一个新的位置时, 即末端执行器在机器人参考坐标系中的 (X, Y) 的值发生改变时, 为使 0R_e 的值不发生改变, 只需控制计算机改变其末端执行器的摇摆角 φ 使末端执行器相对于机器人工作平面保持同一个姿态, 此时图像坐标系也将会保持同一个姿态, 如图 3 所示.

将式(1)代入式(8), 得到工件的形心在机器人工件参考坐标系中的位置

$${}^0R_G = R_e {}^cP_g + P_{e0} + P_{\alpha}, \quad {}^cP_g = [{}^c x_g, {}^c y_g]^T \quad (9)$$

同理由(8)式中的 R_e 可求出 X_{camera} 到 X_{robot} 的夹角 ϵ . (6)式中 $\theta_{1,2}$ 与夹角 ϵ 之和即为工件在机器

人工作参考坐标系中的姿态的方向角.

4.2 视觉引导的工件超声波深度获取

由上面讨论的方法计算出工件的形心在机器人工件参考坐标中位置后, 机器人引导固定于末端执行器上的超声波距离测量仪测量工件与末端执行器的距离, 依据超声波的声源与目标之间的距离与超声波在声源与目标之间往返传播所需的时间成正比的原理, 即

$$L = C_{ultra} T_{precise} / 2$$

其中 C_{ultra} 为声速, $T_{precise}$ 为渡越时间

将末端执行器移动到工件的形心上方, 在末端执行器移动的同时检测超声波从发射到碰到工作平台之后反射回来所历的时间间隔即渡越时间, 就可测量出探头到工作平台表面之间的距离 $l_{platform}$. 在工件形心上方时测量工件所在的工件的深度信息 $l_{workpiece}$, 前者与后者的测量值之差为工件的深度数据(图4), 即

$$D_{workpiece} = l_{platform} - l_{workpiece} \quad (10)$$

需要说明的是: 本实验室自行研制的超声波距离测量仪经多次改进后现已达到 0.3 毫米的深度测量精度, 它是通过 RS232 串行通讯, 将深度测量值送往控制计算机. 有关超声波深度测量仪的原理与详细的测量方法可参见文献[4, 5], 这里不再叙述.

5 融合控制与精确抓取

5.1 多传感器数据融合的机器人融合控制

在超声波工件深度测量前, MoveMasterEX 机器人先将超声波探头引导到工件的正上方, 此时机器人的 5 自由度控制 (X, Y, Z, ϕ, φ) 输入为: $[X, Y]^T = {}^0P_g - {}^0P_u, {}^0P_g$ 由(9)式给出, 0P_u 为末端执行器在同一姿态下超声波探头到末端执行器的位移; Z 为一给定的初始高度 Z_0 , 此初始高度在图像处理与超声波工件深度测量时都不发生改变; ϕ 为绕 Z 轴的旋转角, 它使图3中的图像的坐标保持同一姿态;

在机器人由(10)式测得工件的深度数据后, 机器人就可抓取工件了, 此时机器人的 5 自由度控制 (X, Y, Z, ϕ, φ) 输入为

(1) $[X, Y]^T = {}^0P_g, {}^0P_g$, 由(9)式给出;

(2) $Z = D_{workpiece} / 2 + Z_0 - l_{platform}$;

(3) $\phi = \theta_{1,2} + \epsilon, \theta_{1,2}$ 可见(6)式, ϵ 为 X_{camera} 到 X_{robot} 的夹角;

(4) φ 为绕 X 轴的旋转角它使末端执行器和机器人工件平面保持垂直.

显然, 机器人的输入是多个传感器数据融合的结果: 输入的第1项是图像处理的结果, 第2项数据为超声波工件深度测量数据. 同时第2项数据的得到要依据图像形心在机器人参考

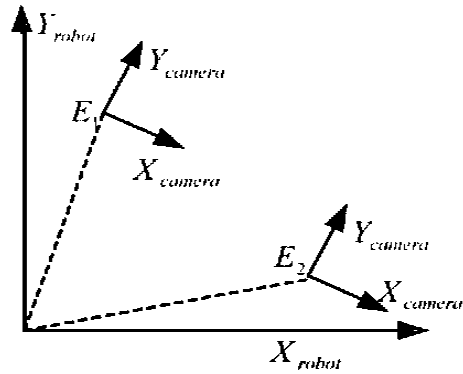


图3 图像坐标与机器人坐标变换

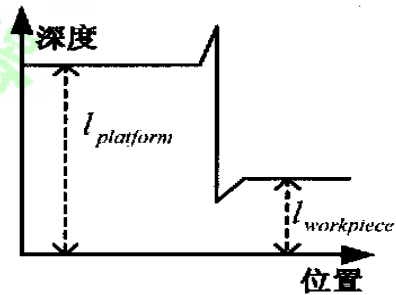


图4 超声波工件深度测量

坐标系中的位置.

5.2 工件精确抓取

上面讨论了机器人 MoveMaster-E 抓取的融合控制, 给出了机器人抓取工件的控制向量的输入, MoveMaster-EX 是一个自闭环控制机器人, 其运动误差在 0.3 毫米之内, 满足精确抓取的要求, 因而其抓取工件的精确度由外部控制输入的精确决定. CCD 安装于末端执行器上, 它和工件的距离较近, 因而, 文中的(8)式映射算法运算简单而且精确度高, 可保证图像处理的结果变换到机器人参考坐标时误差在 0.5 毫米之内. 同时本实验室自行研制的超声波距离测量仪已达 0.3 毫米测量精度, 这些测量值的精度保证了工件抓取的精确度与可靠性. 即使在多个工件不重叠但以任意方位放置时, 依据本文提出融合的方法, 本实验室的 MoveMaster-EX 机器人准确地把各个工件精确地抓取, 送往各个工件对应的收集箱.

6 结束语

本文的图像与坐标标定等各种算法都考虑了机器人实时控制的需要, 这些算法对计算机系统无特殊的要求. 实时性好, 可以满足一般工业装配机器人的要求, 对不同形状或同一种形状但大小不同(如工件的高度不同)的工件都可准确抓取.

参 考 文 献

- 1 蔡自兴. 智能机器人技术的研究与展望. 中国人工智能学会机器人专业委员会成立大会暨首届学术研讨会论文集, 1993, 7: 1
- 2 Bhanu B, Faugeras O D. Shape Matching of Two Dimensional Objects. IEEE PAMI, 1985, 7(6): 137- 156
- 3 Radu Horaud, Fadi Dornaika. Hand-Eye Calibration. The International Journal of Robotics Research, 1995, 14(3): 195- 210
- 4 杨劲松, 王敏, 黄心汉. 超声波可变阈值测距装置, 电子技术应用, 1998, 24(7): 7- 9
- 5 王敏, 黄心汉, 胡建元. 集成化接近觉传感器研究. 华中理工大学学报, 1995, 23(9): 33- 36

WORK-PIECE PRECISE GRASPING BY IMAGE FUSION PROCESSING AND ULTRASONIC RANGE MEASUREMENT

XIONG Chun-shan HUANG Xin-han WANG Min PENG Gang

(Control Science and Engineering Department, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, 430074)

Abstract: The center pointer and pose of work-piece are given by image processing and are transformed to the robot coordinate by a simple and high precise mapping algorithm. The depth of work-piece is obtained by ultrasonic range measurement. The data fusion of center pointer, pose and depth of the work-piece and the control input-vector of robot is computed out. The robot movement is precisely controlled by the control input-vector and work-piece is precisely grasped. The low error of image processing and high precision of depth measurement ensure that the grasping is highly precise.

Keywords: Edge, corner, ultrasonic, multisensor data fusion

作者简介:

熊春山 (1971-), 男, 博士生. 研究领域: 机器人技术, 多传感器数据融合, 智能控制, 通信与网络.
黄心汉 (1946-), 男, 教授, 博士生导师. 研究领域: 机器人技术, 多传感器数据融合, 智能控制.