

一种并联机械手视觉引导算法

王忠勇, 马超

(郑州大学 信息工程学院, 郑州 450001)

摘要: 钣金冲压件为例, 根据传送带输送的工件具有一致性的特点, 介绍了用于从传送带上抓取并将其摆放整齐的并联机械手的视觉引导算法设计, 采用一种非匹配的算法, 快速将在传送带上杂散分布的工件的位置和角度计算出来; 该算法较模板匹配法运算量大大减少, 保证了系统的实时性; 另外, 对于传送带上工件正反面颠倒、工件重叠现象, 算法也进行了相应处理; 机械手可根据视觉算法得到的工件信息, 逆解计算出机械手主动臂转角, 从而实现拾放 (pick-and-place) 操作; 对 3 万件工件实测, 其中发生重叠的工件 43 个, 没有正确识别工件 28 个; 该算法对工件定位准确度达到 99.7%, 证明该算法具有很高的可靠性。

关键词: 联机械手; Delta 机构; 工件视觉定位; 逆解; 拾放操作

Design of Visual Algorithm for Guiding Parallel Manipulator

Wang Zhongyong, Ma Chao

(School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Taking stamping parts as an example, according to the consistency of components on the conveyor belt, we introduce a design of visual algorithm for guiding parallel manipulator to pick components from the conveyor belt. We use a non-matching algorithm, by which position and angle of components on the conveyor belt can be fast calculated. Compared with template matching method, this algorithm has greatly reduced computing time, which ensures the real-time performance of the system. In addition, the algorithm also deals with reversal and overlapping phenomenon of components. According to the information obtained by visual algorithm, angle of driving arm of the manipulator can be calculated, and the pick-and-place operation can be realized. We tested 30,000 components, except for 43 overlapping ones, and 28 not-correctly-recognized ones, the algorithm has the correct rate of 99.7%, which prove that the algorithm has high reliability.

Key words: parallel manipulator; delta mechanism; visual positioning of workpiece; inverse kinematics; pick-and-place operation

0 引言

在设计工业生产自动化系统时, 自动上料和自动摆放整齐的操作 (例如, 欲将从冲压机、压铸机、塑料成型机等机械中加工出来的摆放凌乱的产品码齐, 或者将一堆放置杂乱的工件送到加工机械中) 是实现起来非常困难的两种: 解决这类问题一般面临两大难题: (1) 如何在的一组摆放杂乱的工件中确定每个工件的摆放状态; (2) 如何高速地将每个工件码齐, 使之具有统一的朝向。传统的解决方案包括振动盘、振动筛等。这类机械专用性强, 无法适应多产品生产线的需要, 并且可靠性不高, 容易卡料。以 Delta 机械手为代表的并联机械手具有速度快、精度高、自重负荷比小、动力性能好、控制容易等优点, 在国外已广泛应用, 而国内的应用尚处于起步阶段。本文设计一种用于引导摆放钣金冲压件的 Delta 机械手的视觉引导算法, 用于引导机械手将冲压机加工并经传送带输送出来的位置和方向杂乱的工件摆放整齐。文中给出一种快速确定工件位置和角度的非匹配算法, 并利用该信息逆解出机械手主动臂转角, 控制机械手完成工件的摆放^[1]。

1 算法应用背景介绍

算法通常应用于图 1 所示的系统, 主要包括机器视觉系统、传送带、Delta 机械手等部分组成。传送带起始部分直接置于加工机械下料处下方, 落到传送带上的工件的角度和位置具有很大的随机性。位于传送带上方的相机每隔固定时间抓拍一幅图像, 不同时刻所拍图像能够将传送带面覆盖。拍到的图

像被送到计算机中, 计算出每个工件的位置和角度, 并利用这些信息, 逆解计算出主动臂转角完成取放运动的控制。

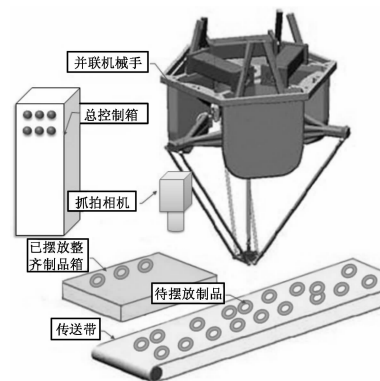


图 1 应用场合

2 图像处理硬件选型

视觉部分由前端的高速工业相机和后端图像处理部分构成, 由于在连续工作中拍照时, 传送带不停止, 为防止所获图像拖尾, 需要使用具有较高快门速度的工业相机。本设计选用大恒图像的 DH-HV3151UC 工业相机^[2], 该相机具有 310 万像素 CMOS 传感器, 快门时间为 1/20 000~1 s。后端图像处理采用 X86 工控机, 工控机具有凌动 N2600 CPU 和 2G 的 DDR3 内存。基于 OpenCV 开发软件算法^[3-6]。

在图像抓拍时, 要求所拍图像能够完整覆盖传送带, 为保证可靠, 前后抓拍到的两幅图像头尾有部分重叠。对于这个重叠部分, 需要单独处理, 具体处理策略将在 3.2 部分详细论述。

收稿日期: 2013-12-27; 修回日期: 2014-02-17。

作者简介: 王忠勇 (1965-), 男, 河南郑州人, 博士, 主要从事数字信号处理、嵌入式系统、混沌控制等方向的研究。

3 图像处理算法

图像处理的任务是计算出抓拍的图像中每个工件的位置和旋转角度。通常采用的方法，是利用模板匹配算法^[7]，由于偏转角度的存在，需要将模板图像进行多次旋转，并保存每个旋转后的图像作为该角度下的模板，并用每个角度的模板遍历图像做相关运算。而本系统对实时性有很高要求，如此大的实时运算量工控机难以实现。即使采用圆投影模板^[8]，也很难将保证实时运算速度。由于传送带上制品一般为同种零部件，本文利用这点提出的非匹配算法，具有较高的速度和准确度。算法的流程如图 2 所示。

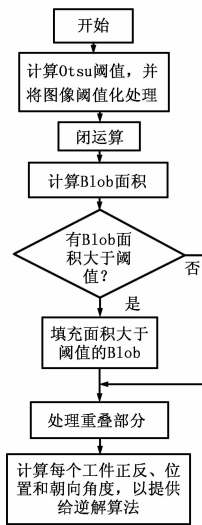


图 2 算法流程

3.1 图像预处理

图像预处理作用是向后续步骤提供易于处理和判断的图像。预处理包括阈值分割、闭运算、计算 Blob 面积、填充大于阈值的 Blob 几个步骤构成。

下面详述各个步骤的意义和方法。

(1) 阈值分割：阈值分割的作用是将相机捕获的图像化为容易处理的二值图像，将工件与传送带分割出来，形成工件 Blob 以方便进一步分析。阈值分割的过程是一种统计决策的过程，目的是把像素根据灰度分配给两个或多个组别。本设计采用 Otsu 方法分割，该方法在类间方差最大的准则下是最佳的^[9]。

(2) 闭运算：先膨胀后腐蚀的过程称为闭运算。用来填充物体内部细小空洞、连接邻近物体、平滑其边界的同时并不明显改变其面积。在这里使用闭运算的作用是去除工件上的小孔和槽留下的“斑点”，更进一步为后续步骤简化图像，使后续步骤得到的结果更加准确可靠^[10]。

(3) 计算 Blob 面积：传送带从模具上接到工件，有时会发生工件重叠的情况，这种情况通常需要对工件进行多次拍照，每次拍照可以定位重叠部分最上层的工件位置和角度。而本系统采用的是对工件只进行一次抓拍的体系。如果额外增加相机，不仅增加系统的成本，而且势必影响系统的工作速度。对本设计中涉及到的工件进行生产现场统计，可知，产生重叠的情况并不普遍，约有万分之二到万分之三的概率，所以，本系统对重叠部分的工件采取不予抓取处理，未抓取的工件将落

到传送带末端的工件箱内，供后期单独处理。

判断工件是否有重叠，只需计算每个 Blob 的面积，有重叠部分的面积必定大于没有重叠的单个工件的面积。将未重叠工件 Blob 的面积设为阈值，即可判断出有重叠的工件 Blob。

(4) 填充大于阈值的 Blob：由于采取对重叠工件不抓取策略，所以对有重叠工件的 Blob 做填充处理，这样所得图像中的工件均为未重叠工件的 Blob。

3.2 相邻抓拍图片重叠部分的处理

为了保证所抓拍的图片能够覆盖整个传送带，相邻两次抓拍的图像有重叠部分。

若对这部分不加处理，将造成机械手对重叠区工件多次抓取。由图 3 可知，重叠部分是由本次抓拍图像的前端线、上一次抓拍的后端线和左右边线围成的区域。

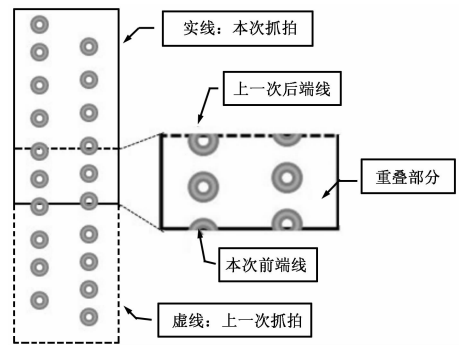


图 3 重叠部分

只看图 3 中重叠区域。首先，可知本次抓拍前端线附近不完整的工件在上次抓拍中具有完整的工件图像，所以在本次抓拍的应将其清除，这部分工件应由上次抓拍。其次，重叠部分完整的工件要么由本次处理，要么由上次处理，这里选择由上次处理，则需在本次抓拍到的图像中将其清除。最后，在上一次抓拍后端线附近的不完整工件图像，在本次抓拍中具有完整的图像，所以应由本次处理，同理，也应清除本次抓拍图像后端线的不完整工件。处理后的图像如 4 最下边图像所示，其中的虚线以右是与前一次抓拍重叠的部分。值得注意的是，重叠区域在设置时其宽度要大于一个工件的最大宽度，才能保证没有工件被漏抓取。

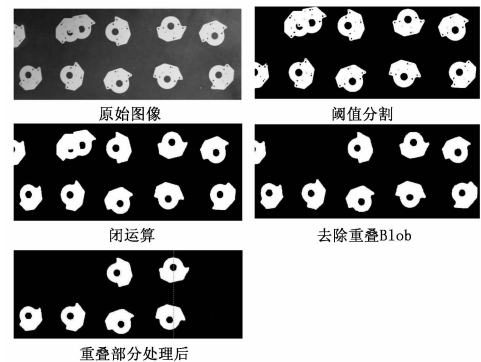


图 4 预处理和重叠处理

3.3 工件正反和位置、角度的识别

该步骤的作用是对预处理后的图像做进一步处理，计算出每个工件的位置和角度，以提供数据给机械手逆解算法做解算。为准确判断工件的正反面和位置、角度，需经以下步骤。

(1) 计算未重叠 Blob 质心: 二值图像中的 Blob 质心即是每个工件 Blob 的面积中心。设 $B(i, j)$ 为 Blob 上的一个非零点, 则质心为

$$\bar{x} = \frac{\sum_i \sum_j jB[i, j]}{\sum_i \sum_j B[i, j]}, \bar{y} = \frac{\sum_i \sum_j iB[i, j]}{\sum_i \sum_j B[i, j]}$$

虽然每个工件角度朝向和正反呈随机分布, 但每个工件 Blob 的质心在工件上的位置不变。图 5 中用星号 * 标记每个工件 Blob 的质心^[10]。

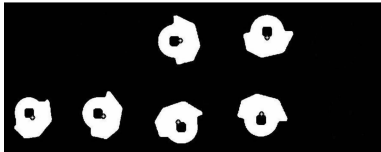


图 5 标记质心

(2) 用 Sobel 算子提取边缘: 用 Sobel 算子计算边缘, 按如下公式确定每点的值:

$$g = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2} = \{[(z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)]^2 + [(z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)]^2\}^{1/2}$$

其中 Sobel 模板如图 6 所示。

z_1	z_2	z_3
z_4	z_5	z_6
z_7	z_8	z_9

图 6 Sobel 模板

若在位置 (x, y) 处 $g \geq T$ 则该位置的一个像素是一个边缘像素。在本设计中, 选取 $T=0.05$ 可达到分明的边缘信息^[10];

(3) 做圆求交点: 以质心为圆心, 以指定半径 R 做圆, R 的值需要根据具体工件做具体分析。使该圆与工件 Blob 的轮廓相交于点 $A, B, C \dots$ 等点。图 7 中上下两幅图分别显示了正面朝上工件和反面朝上工件轮廓与圆的交点, 分别为 $A \sim F$ 。

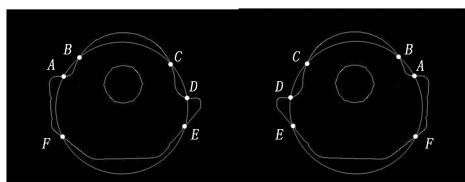


图 7 正反、方向角判定

(4) 判断工件正反面和位置、角度: 任选一个交点, 顺时针

计算圆上相邻交点间的距离。例如在图 7 中选中了 A 点, 则计算 A 与 B 的距离为 L_1 , B 与 C 的距离为 L_2 , C 与 D 距离为 L_3 , D 与 E 距离为 L_4 , E 与 F 距离为 L_5 , F 与 A 距离为 L_6 。则正面工件距离符合图 7 中上图的排列模式, 反面工件符合下图的排列模式。

据此判断工件落料到传送带后的正反面。再寻找长度 L_1 和 L_2 之间的点 B , L_4 与 L_5 之间的点 E , 连接 BE 的方向规定为工件的正方向。

4 结论

对 30 000 件工件实测, 除去其中发生重叠的工件 43 个, 和没有正确识别工件 28 个。该算法对工件定位准确度达到 99.7%。证明该算法具有很高的可靠性, 能够稳定地运行在生产现场。值得注意的是, 本文所述方法适用工件不仅限于文中所涉及的工件。但算法还有很多需要改进的地方, 比如, 本算法只能应用于落料后呈正反两面的工件如本文介绍的钣金冲压件, 或者较容易区别的制品如食品工业中识别火腿肠等。对于形状复杂的三维工件, 算法无能为力。并且对工件重叠情况的处理, 还需要进一步努力解决。

参考文献:

- [1] 梁香宁, 牛志刚. 三自由度 Delta 并联机器人运动学分析及工作空间求解 [J]. 太原理工大学学报, 2008, (1): 93-96.
- [2] 杨朋林, 张晓飞. FPGA 控制实现图像系统视频图像采集 [J]. 计算机测量与控制, 2003, 11 (6): 451-454.
- [3] 于仕琪, 刘瑞祯著. OpenCV 教程: 基础篇 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.
- [4] Robert Laganiere 著. OpenCV2 计算机视觉编程手册 [M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [5] Bradski G, Kaehler A. 学习 OpenCV [M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- [6] 谭浩强. C++ 程序设计 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [7] 邓秀娟, 赵亮. 基于图像轮廓提取的模板匹配方法在机器人视觉中的应用 [J]. 机器人技术与应用, 2002, 5: 27-29.
- [8] 高翔. 一种具有旋转不变性的模板匹配方法 [J]. PLC&FA, 2006, 1: 109-112.
- [9] Rafael C. Gonzales, Richard E. Woods, Steven L. Eddins. 数字图像处理 (第三版) [M]. 阮秋琦, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [10] Rafael C. Gonzales, Richard E. Woods, Steven L. Eddins. 数字图像处理 (MATLAB 版) [M]. 阮秋琦, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2005.

(上接第 1477 页)

- [4] Daniel Mellinger, Nathan Michael, Vijay Kumar. Trajectory Generation and Control for Precise Aggressive Maneuvers with Quadrotors [J]. Robotics Research, 2012, 31 (5): 664-674.
- [5] 黄荣辉, 大气科学概论 [M]. 北京: 气象出版社, 2005.
- [6] 董涛, 李永军. 等温大气压高方程在气压剖面高度计算中的应用 [J]. 海洋技术, 2011, 30 (1): 88-89.

- [7] 李庆扬, 王能超, 易大义. 数值分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [8] 蔡天净, 唐瀚. SaVitzky-Golay 平滑滤波器的最小二乘拟合原理综述 [J]. 数字通信, 2011, (1): 63-64.
- [9] 胡永红, 楚亚菲. 小型飞行器综合测试系统方案设计 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16 (8): 1062-1064.