

基于视觉的随机位姿工件 抓取系统的设计与应用*

陈明方, 臧家秀, 李俊男, 王学军, 葛天佑, 姚国一
(昆明理工大学机电工程学院, 云南 昆明 650500)

摘要: 针对显示器装配线上显示器的位姿随机性较大、抓取困难的问题, 提出了一种基于视觉的随机位姿显示器抓取系统。系统利用 Labview 的视觉工具包对图像进行采集、处理计算, 对不同型号的显示器生成其位姿数据, 将该数据送给 PLC 来控制机器人的抓取动作。并以直角坐标机器人、工业相机和工控机为硬件基础搭建了实验平台, 利用 Labview 软件组建了人机交互界面。实验测试表明, 该系统的坐标误差小于 0.4 mm, 角度最大误差在 0.3° 内, 适用于不同型号显示器, 抓取系统的准确性好、可靠性高。

关键词: Labview; 视觉; 直角坐标机器人; 图像处理

中图分类号: TP271+.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2020)05-0078-08

Design and applications of visual-based random poseworkpiece grabbing system

CHEN Mingfang, ZANG Jiaxiu, LI Junnan, WANG Xuejun, GE Tianyou, YAO Guoyi

(Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Kunming University of Science and Technology,
Kunming 650500, China)

Abstract: Aiming at the problem of large randomness and difficulty in grasping the displays on the display assembly line, a display grabbing system of random pose based on the vision was proposed. The system used the visual toolkit of Labview to collect and calculate the images, and generated the position data of different types of displays, and sended the data to the PLC to control the grasping action of the robot. The experimental platform was built with cartesian robot, industrial camera and industrial computer as the hardware foundation, and the human-computer interaction interface was configured with Labview software. The experimental shows that the coordinate error of the system is less than 0.4 mm, and the maximum angle error is within 0.3°. It is suitable for different types of displays, and the grasping system has good accuracy and high reliability.

Key words: Labview; vision; cartesian robot; image processing

在显示器生产装配过程中, 输送线上显示器的定位和抓取是自动化改造的关键点之一。目前, 大多输送线是通过机械方式来对显示器进行预定位, 通过预先示教的方法控制机器人抓手的姿态

达到设定位置^[1-3]。然而, 因显示器装配线上大多采用倍速链对显示器进行输送, 当显示器尺寸型号不同, 位置、姿态无法确定时, 机器人无法完成抓取动作^[4]。目前, 存在一些采用视觉技术的

* 收稿日期: 2019-10-28

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFC1702503); 国家自然科学基金 (51965029/51565021)

作者简介: 陈明方 (1975 年生), 男; 研究方向: 机器人控制算法研究及应用、复杂机电系统集成及应用、电路分析及工程应用、智能控制理论及应用; E-mail: mfchen111@sina.com

通信作者: 臧家秀 (1993 年生), 女; 研究方向: 复杂机电系统集成及应用; E-mail: 1273201135@qq.com

抓取机器人, 但它们需要对显示器进行预定位, 且当显示器尺寸、型号不同时, 需采取不同的抓取方案^[5-6]。

为了实现工件抓取的自动化、柔性化, 国内外众多学者对视觉抓取技术进行了研究。曾劲松等通过双目视觉系统对定位板上的6个孔进行拍摄, 根据孔中心在相机坐标系下的位置, 求得工装板相对相机坐标系的位置, 然后转化为机器人坐标系下的位置, 供机器人抓取工件^[1]。王增磊等^[7]以盲区待装配零件为对象, 提出了一种基于机器视觉的增强现实盲区装配方法。黄金梭等^[8]采用工业相机和机器人动态抓取系统模型, 基于视觉和工业机器人的动态抓取技术, 提出了一整套位姿数据计算方法。季旭全等^[9]采用机器学习与双目视觉的方法, 提出了机器人与视觉引导的星载设备智能装配方法。上述研究侧重于坐标系变换与标定方法, 未涉及图像处理与控制系统的连接问题, 理论性强、可操作性论述不足。

本文以输送线托盘上随机位姿显示器的抓取为研究对象, 采用滤波、二值化和特征提取等图像处理方法, 获取显示器的位姿数据, 将其送给PLC, 控制机械手的抓取动作。该方法的可靠性好、操作简便、处理速度快且精度高。

1 系统总体方案设计

本文设计了直角坐标机器人作为显示器的抓取控制本体, 通过工业相机获取当前显示器位姿图像, 将实时图像送至图像处理系统生成实时位姿数据, 通过该数据来控制机器人抓手的动作。

如图1所示, 本系统主要包括两个部分: 图像采集与处理系统和机器人控制系统。图像采集与处理系统由工业相机及Labview软件组成, 主要负责获取显示器图像, 并对采集的图像进行处理计算, 然后输出显示器的位姿; 机器人控制系统主要由PLC、伺服电机等组成, 用于对直角坐标机器人的控制, 实现最终的抓取动作。

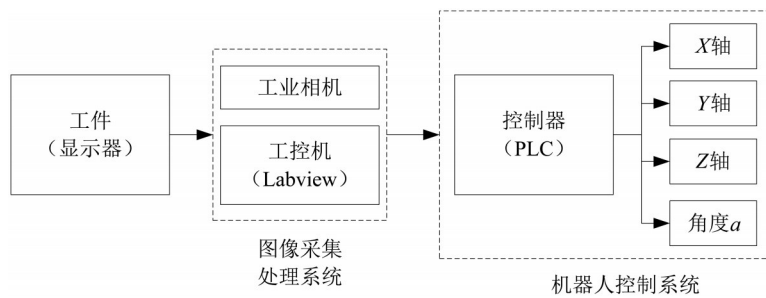


图1 系统方案框图

Fig. 1 System block diagram

2 图像处理

图像处理是对所获取图像进行加工、计算和处理, 以便能达到视觉、机器决策的要求^[10]。抓取机器人要能准确抓取到显示器, 机械手需要知

道显示器的轮廓尺寸及其位姿, 本文中显示器型号尺寸可预先给定, 所以在图像处理只需将显示器位姿数据传送给PLC即可。图像处理过程如图2所示。

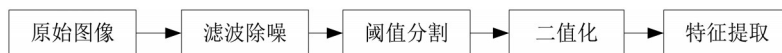


图2 图像处理过程

Fig. 2 Image processing process

2.1 滤波除噪

图像在采集或传输过程中经常被各类信号干扰, 图像会夹杂一些噪声, 会导致图像中的一些重要信息难以被读取。所以在图像处理前需要对图像进行除噪, 便于图像的进一步处理。在处理中, 可以把图像看成一种二维信号, 使用傅里叶

变换将其变换成频率域, 然后逆变换为空间域^[11]。傅里叶变换卷积定理如下:

$$f(x, y) \times h(x, y) \Leftrightarrow F(u, v)H(u, v)$$

$$f(x, y)h(x, y) \Leftrightarrow F(u, v) \times H(u, v)$$

若 $H(u, v)$ 为滤波函数 $h(x, y)$ 的频谱, 则由上式可知, 对图像 $f(x, y)$ 进行傅里叶变换得到结果 $F(u, v)$, 再通过滤波函数 $h(x, y)$ 进

行滤波, 然后用 $H(u, v)$ 与 $F(u, v)$ 相乘, 并对其进行傅里叶反变换, 即可得滤波后的图像。

根据所采集图像, 经过多次实验发现, 本文采用理想低通滤波器可以达到较好的除噪效果。低通滤波器使频率高于 D_0 的信号为 0, 低于 D_0 的信号为 1, 其他频率的信号不变, 其传递函数为:

$$H_l(u, v) = \begin{cases} 0, & D(u, v) > D_0 \\ 1, & D(u, v) \leq D_0 \end{cases} \quad (1)$$

其中, D_0 为截止频率到原点的距离, $D(u, v)$ 为频谱上 (u, v) 点到原点的距离, 其计算公式为:

$$D(u, v) = \sqrt{\left(u - \frac{M}{2}\right)^2 + \left(v - \frac{N}{2}\right)^2} \quad (2)$$

其中, M, N 为图像的长和宽。在实际应用中, 可以使用需要保留的能量占总能量的比例来确定截止频率 D_0 。Labview 处理图像时, 使用 IMAQ Complex Truncate 实现理想滤波器的滤波, 见图 3。使用该函数时, 只需改变参数 Truncation Frequency% 来确定需保留总能量的百分比即可。滤波时, 程序先将图像读进内存进行傅里叶变换, 然后使用 IMAQ Complex Truncate 对图像进行滤波, 滤波后对图像进行傅里叶反变换, 得到滤波后的图像。参数 Truncation Frequency% 分别取 5%、15% 及 25% 时的图像如图 4 所示。经对比发现, 参数 Truncation Frequency% 应取 15%。

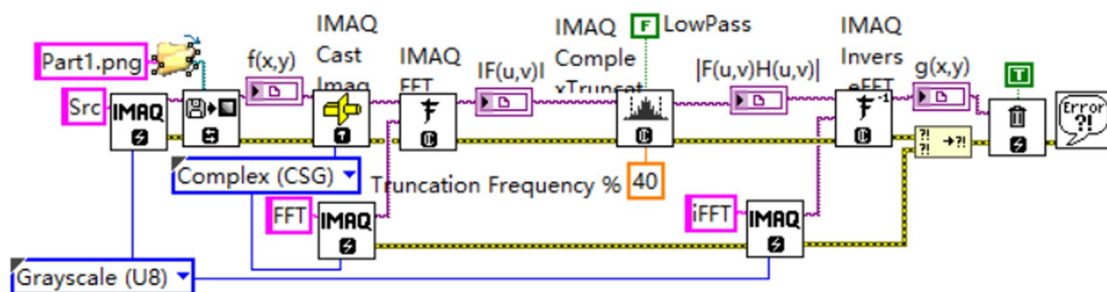


图 3 Formular Filters 代码

Fig. 3 Formular Filters code

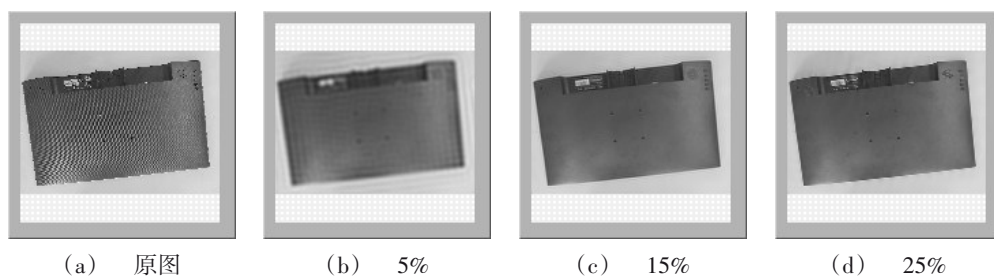


图 4 不同截止频率对比图

Fig. 4 Comparison diagram of different cut-off frequencies

2.2 阈值分割

图像分割能够进一步将除噪后的图像简化, 其根据图像的颜色、形状和灰度等参数把图像划分为不同子区域。也就是说, 将具有相同特征在同一个区域而不同特征的分开^[12]。图像分割一般输出为二值图像, 即用 0 表示背景, 1 表示目标区域。由于显示器与托盘有较强的对比度, 所以本系统采用图像阈值分割有效。

阈值分割根据不同特征设置单个或多个阈值, 将图像的像素分为 2 类或者多类。以图像的灰度直方图作为参考, 图像灰度阈值分割可选择阈值将

图像的目标与背景分离开。假设原图为 $f(x, y)$, T 为阈值, 阈值分割最简单的表示方法为:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) \geq T \\ 0, & f(x, y) < T \end{cases} \quad (3)$$

其中, $g(x, y)$ 为分割后图像。

图像阈值分割分为手动阈值分割和自动阈值分割方法。手动分割需人为确定阈值, 存在主观性, 所以本系统采用自动阈值分割方法。NI Vision 可支持 5 种自动分割方法: 最大熵法、最大类间方差法、矩保持法、聚类法和均匀性度量法。其中, 最大类间方差法不受图像对比度及亮度的影响、

计算简单, 被认为是阈值选取的最佳算法^[13-14]。将图像分为目标和背景两类, 这两类间的方差越大, 说明这两类的区别就越大。如果有一阈值使其方差最大, 那么这个阈值就是最佳阈值。

假设 k 为某一灰度级为 i 的图像的最佳阈值, 将其图像分为 X 、 Y 两类, X 和 Y 分别出现的概率为 $P(X)$ 和 $P(Y)$, 那么它们的类间方差为:

$$\sigma_B^2 = P(X)(\mu_0 - \mu_T)^2 + P(Y)(\mu_1 - \mu_T)^2 \quad (4)$$

其中, μ_T 为整幅图像的灰度平均值, μ_0 和 μ_1 分别为 X 和 Y 这两类的灰度平均值。另 $P(X) = \omega(k)$, 则其对应的均值分别为:

$$\mu_0 = \sum_{i=0}^k i \frac{P_i}{\omega(k)} = \frac{\mu(k)}{\omega(k)} \quad (5)$$

$$\mu_1 = \sum_{i=k+1}^{N-1} i \frac{P_i}{1 - \omega(k)} = \frac{\mu_T - \mu(k)}{1 - \omega(k)} \quad (6)$$

$$\mu_T = \mu_T \quad (7)$$

$$\mu(k) = \mu(k) \quad (8)$$

其中, p_i 为 i 级灰度值出现的概率。根据统计理论可得两个类的类间方差为:

$$\begin{aligned} \sigma_B^2 &= \omega(k)(\mu_0 - \mu_T)^2 + [1 - \omega(k)](\mu_1 - \mu_T)^2 \\ &= \omega(k)[1 - \omega(k)](\mu_1 - \mu_0)^2 \end{aligned} \quad (9)$$

将式 (5) 和 (6) 代入式 (9) 可得:

$$\sigma_B^2 = \frac{[\mu_T \omega(k) - \mu(k)]^2}{\omega(k)[1 - \omega(k)]} \quad (10)$$

对工业相机获得的图像经滤波后进行灰度直方图计算, 结果如图 5 所示。图 5 的横坐标为灰度级 i , 纵坐标为每一级的像素数 n_i 。图 6 的直方图报告中 Area (pixels) 为该图像的总像素数 n 。那么 i 级像素点出现的概率为:

$$P_i = \frac{n_i}{n} \quad (11)$$

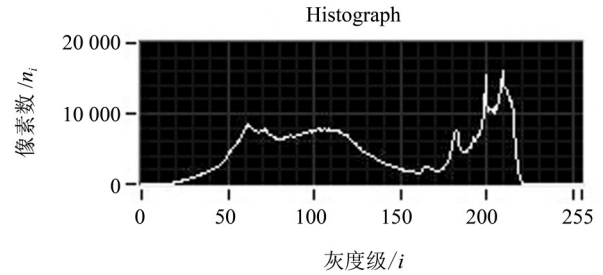


图 5 灰度直方图

Fig. 5 Gray histogram

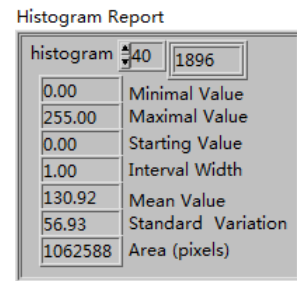


图 6 直方图报告

Fig. 6 Histogram report

将式 (11) 代入式 (7) 和 (8), 可求出 μ_T 和 $\mu(k)$ 。只有 $\omega(k)$ 未知, 因此只要找到 k 让类间方差最大, 那么 k 就是最佳阈值。

2.3 二值化图像

二值化是使图像呈现出黑白状态的过程, 此时图像上点的灰度值为 0 或 255^[15]。因此, 图像的二值化使图像数据量减少, 使目标轮廓更加清晰, 更有利于图像的进一步处理。其原理就是小于最优阈值的像素点其灰度值变为 0, 大于最优阈值的像素点变为 255, 即可将目标区域转化为黑色, 背景或其他区域转化为白色。图 7 为二值化程序框图, 根据上节阈值分割的方法可求出本系统最佳阈值为 167, 输入最佳阈值可得到二值化后的图像, 如图 8 所示。

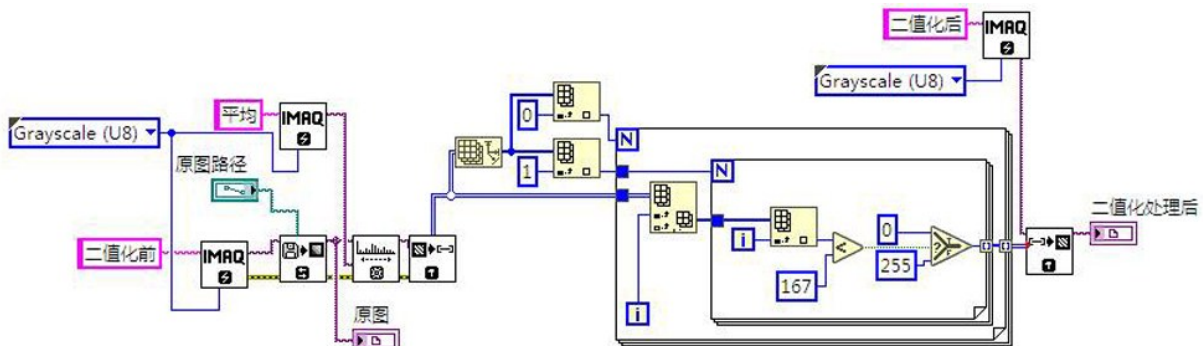


图 7 二值化程序框图

Fig. 7 Binarization block diagram

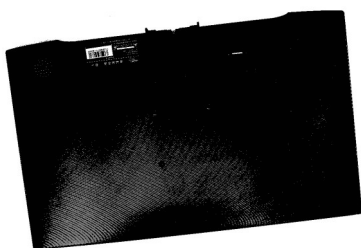


图8 二值化后图像

Fig. 8 Binarized image

2.4 特征提取

利用 IMAQ AutoBThreshold2 对采集到的图像自动进行阈值分割, 将图像的背景与目标区域分开。默认情况下, 坐标以图形的像素坐标表示, 但是实际控制系统一般按照世界坐标系的坐标值工作, 所以需要事先对其进行坐标转换, 为后续自动建立坐标系做准备。转换公式如下:

$$Z_c \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{d_x} & 0 & u_0 \\ 0 & \frac{1}{d_y} & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & B \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ H \\ 1 \end{bmatrix}$$

其中, (x, y) 为图像像素坐标, Z_c 为物距, (d_x, d_y) 为工业相机的像素大小, f 为相机的焦距, (u_0, v_0) 为图像坐标原点至图像左上角的距离, 它们均为相机的内部参数。 R 为旋转矩阵, 其为相机坐标系到世界坐标系所做的旋转操作。 B 为平移矩阵, 其为相机中心在世界坐标系中的坐标。 X_w 、 Y_w 和 H 为所求的显示器原点的世界坐标系。由于显示器高度和机械手原点位置一定, 所以 H 可知。因此, 在图像处理过程中就可以对 X_w 和 Y_w 进行计算, 并直接返回世界坐标系的坐标。

由于每个显示器的位置不尽相同, 程序采用函数 IMAQ Find CoordSys (Rects) 2, 其可根据指定搜索方向检测目标区域中的目标边缘, 且根据这些边缘确定坐标系。确切地说, 该指令先根据设定的方向搜索一组平行线上目标的边缘点, 然后进行曲线拟合来确定坐标系的主轴 (Y 轴), 接着再沿着与搜索主轴时垂直的方向搜索目标上的边缘线确定辅轴 (X 轴), 两轴交点即为坐标原点。如图 9 所示, Direction 可选择搜索方向。在 CORE: Initialize 中, 程序将标准图像 (如图 10 所示) 存入内存, 并调用 IMAQ Find CoordSys (Rects) 2 将标准图像确定为参考坐标系。然后, 在 Update CoordSys 模式下调用 IMAQ Find CoordSys (Rects) 2 确

定下一图像的测量坐标系。

在实际应用中, 显示器摆放于托盘上, 而托盘在输送线的位置已确定, 且托盘上的挡块对显示器已有了一个预定位, 所以显示器位姿不会变化很大。本文用 IMAQ Find CoordSys (Rects) 2 在目标区域内沿着从左向右、从下向上的方向进行搜索并确定坐标系。采用 IMAQ Find Concentric Edge 2 来表示测量图像的角度, 其由边缘线相对于 x 轴正向逆时针的旋转角表示。

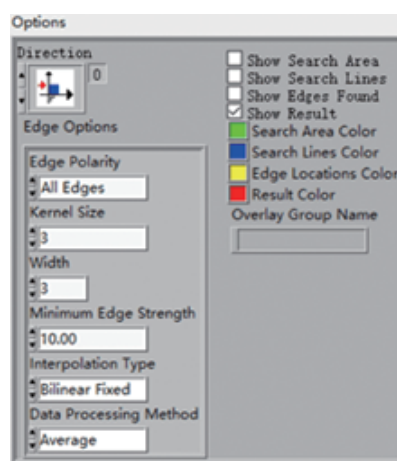


图9 坐标系搜索方向选择

Fig. 9 Search direction selection of coordinate system



图10 标准图像

Fig. 10 Standard image

如图 11 所示, 由于显示器为矩形, 根据图像原点坐标值可由公式 (12)、(13) 求出显示器中心坐标值, 由公式 (14) 便可得出机械手所需移动的距离及角度。

标准图像中心坐标 $(x1, y1)$:

$$\begin{cases} x1 = \frac{a - X_{w1}}{2} \\ y1 = \frac{b - Y_{w1}}{2} \end{cases} \quad (12)$$

测量图像中心坐标 (x_2, y_2) :

$$\begin{cases} x_2 = X_{w2} + 0.5\cos\left(\arctan\frac{b}{a} + \alpha\right)\sqrt{a^2 + b^2} \\ y_2 = Y_{w2} + 0.5\sin\left(\arctan\frac{b}{a} + \alpha\right)\sqrt{a^2 + b^2} \end{cases} \quad (13)$$

则机械手所需移动距离 (x, y) 为:

$$\begin{cases} x = 0.5(a - x_1) \\ \quad - \left[x_2 + 0.5\cos\left(\arctan\frac{b}{a} + \alpha\right)\sqrt{a^2 + b^2} \right] \\ y = 0.5(b - y_1) \\ \quad - \left[y_2 + 0.5\sin\left(\arctan\frac{b}{a} + \alpha\right)\sqrt{a^2 + b^2} \right] \end{cases} \quad (14)$$

其中, X_{w1} 、 Y_{w1} 为参考坐标系原点坐标, X_{w2} 、 Y_{w2} 为测量坐标系原点坐标, α 为测量图像的角度, a 为显示器长度, b 为显示器宽度。

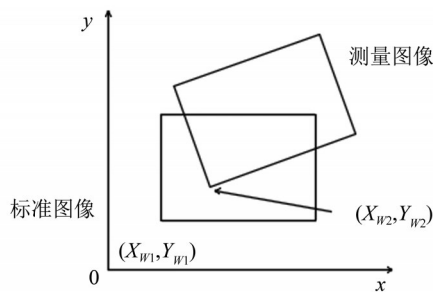


图 11 标准图像与测量图像位置

Fig. 11 Standard image with measured image position

3 抓取系统设计

抓取系统由光电传感器、工控机、S7-1200PLC、工业相机和机器人组成。光电传感器用于检测显示器是否到达指定位置, 并通知工业相机, 工控机实时读取工业相机的图像并将计算结果传送给下位机 PLC, 控制抓取机器人的动作。其控制方案框图如图 12 所示。

当光电传感器检测到显示器到达指定区域, 工业相机开始对显示器进行拍照, 采集图像后将其传送给图像处理软件。由 Labview 软件对图像进

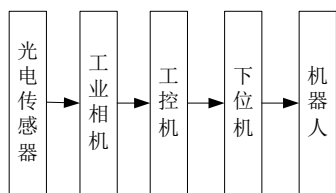


图 12 控制方案框图

Fig. 12 Control scheme block diagram

行处理计算获得显示器的位姿坐标值, 然后将其送给 PLC, PLC 根据计算结果控制机器人各轴的移动和转动, 使机械手移动到指定位置, 控制机械手抓取显示器, 其抓取控制流程图如图 13 所示。

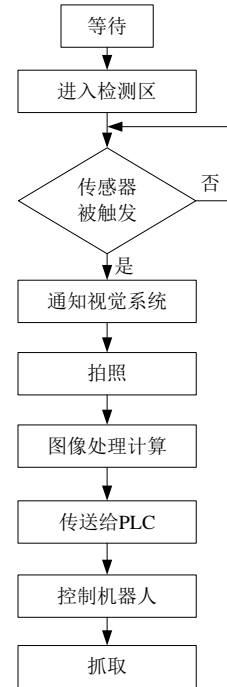


图 13 抓取控制流程图

Fig. 13 Capture control flow chart

为减少图像处理难度及提高图像处理速度, 背景托盘颜色选择白色, 工业相机采用 USB 接口形式。PLC 采用位置控制方式控制伺服驱动器, PLC 发出脉冲串, 电机便会运行至相应位置。图像处理软件 Labview 与 PLC 采用以太网通讯, 在本系统中, S7-1200PLC 是数据的接收方, 只需编写 TRCV_C 程序读取数据, Labview 将坐标值和角度传输给 PLC 的 DB 数据块中, DB 变量定义如图 14 所示。

4 实验结果及分析

为了验证该系统的可靠性, 根据控制流程图, 进行多次抓取实验, 如图 15 所示。抓取过程的人机交互界面如图 16 所示, 实验结果详见表 1。

其中, 检测位置坐标及角度检测值为该抓取系统测量所得, 校正位置坐标为基恩士 IL-100 探头测距 CMOS 激光位移传感器实际测量所得, 角度校正值为日本三量 187-103 数显角度尺实际测量所得。

由上述实验结果可知, 每台显示器的坐标最

	名称	数据类型	保持	可从 HMI...	从 H...	在 HMI ...	设定值	注释
1	Static		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	PLCrec	Array[0..3] of Real	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	PLCrec[0]	Real	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	X轴位移
4	PLCrec[1]	Real	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Y轴位移
5	PLCrec[2]	Real	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Z轴位移
6	PLCrec[3]	Real	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	旋转角度 α

图 14 位姿数据接收 DB 变量

Fig. 14 Pose data receiving DB variable

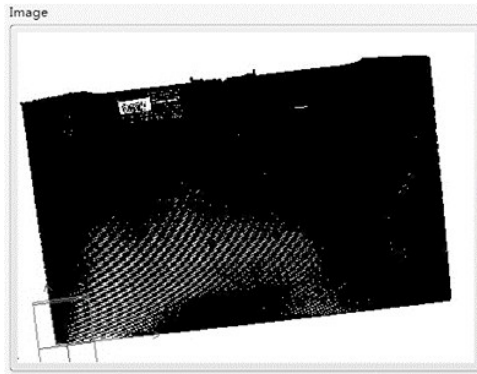


图 15 显示器测量图像

Fig. 15 Display measurement image



图 16 人机交互界面

Fig. 16 Human-computer interaction interface

大误差在 0.4 mm 内, 角度最大误差在 0.3° 内, 满足显示器抓取的要求。

5 结 论

显示器的抓取是显示器装配线上的一个重要

环节, 本文设计了以显示器作为工件对象, 基于 Labview 和直角坐标机器人的视觉抓取系统, 为机器人精准抓取提供了有效保证。通过多次反复实验, 验证了该系统实现方法简洁、可靠, 控制精度高, 充分满足显示器装配线上不同型号显示器的随机抓取要求。

表 1 实验结果

Table 1 Experimental results

序号	坐标值/mm			角度/(°)		
	检测位置 (x, y)	校正位置 (x, y)	误差 (Δx , Δy)	检测值 α	校正值 α	误差 $\Delta\alpha$
1	(75.5, 100.2)	(75.22, 100.41)	(0.28, 0.21)	12.4	12.11	0.29
2	(112.8, 85.4)	(112.19, 85.17)	(0.39, 0.23)	5.5	5.74	0.24
3	(126.4, 103.6)	(126.21, 103.94)	(0.19, 0.34)	8.2	8.01	0.19
4	(117.8, 95.4)	(117.42, 95.13)	(0.38, 0.27)	10.6	10.32	0.28
5	(91.7, 124.5)	(91.48, 124.87)	(0.22, 0.37)	18.5	18.23	0.27
6	(107.1, 112.6)	(107.44, 112.95)	(0.34, 0.35)	15.6	15.36	0.24
7	(127.5, 90.5)	(126.93, 90.21)	(0.43, 0.29)	17.6	17.41	0.19
8	(89.6, 108.9)	(90.25, 109.61)	(0.40, 0.30)	11.3	11.05	0.25

参考文献:

- [1] 吴俊君,胡国生.室内环境仿人机器人快速视觉定位算法[J].中山大学学报(自然科学版),2013,52(4):7-13.
WU J J, HU G S. Fast visual positioning algorithm for humanoid robot in indoor environment[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2013, 52(4): 7-13.
- [2] RADKOWSKI R. Augmented reality-based manual assembly support with visual features for different degrees of difficulty[J]. International Journal of Human-Computer Interaction, 2015, 31(5): 337-349.
- [3] BOOTHROYD G. Product design for manufacture and assembly[J]. Computer-Aided Design, 1994, 26(7): 505-520.
- [4] WANG X, ONG S K, NEE A Y C. A comprehensive survey of augmented reality assembly research[J]. Advances in Manufacturing, 2016, 4(1): 1-22.
- [5] 张广军. 机器视觉[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 21-22.
ZHANG G J. Machine vision [M]. Beijing: Science Press, 2005: 21-22.
- [6] 王田苗,陶永.我国工业机器人技术现状与产业化发展战略[J].机械工程学报,2014,50(9):1-13.
WANG T M, TAO Y. The status quo and industrialization development strategy of industrial robot technology in China[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2014, 50(9): 1-13.
- [7] 王增磊,晏玉祥,韩德川,等.基于机器视觉的增强现实盲区装配方法[J].西北工业大学学报,2019,37(3):496-502.
WANG Z L, YAN Y X, HAN D C, et al. Augmented reality blind zone assembly method based on machine vision[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2019, 37(3): 496-502.
- [8] 黄金梭,沈正华.基于视觉和工业机器人的动态抓取技术[J].包装工程,2019,40(11):6-9+13.
HUANG J S, SHEN Z H. Dynamic grabbing technology based on vision and industrial robots[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(11): 6-9+13.
- [9] 季旭全,王君臣,赵江地,等.基于机器人与视觉引导的星载设备智能装配方法[J].机械工程学报,2018,23(1):63-72.
JI X Q, WANG J C, ZHAO J D, et al. Intelligent assembly method of spaceborne equipment based on robot and vision guidance[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2018, 23(1): 63-72.
- [10] 杨高科.图像处理、分析与机器视觉(基于LabVIEW)[M].北京:清华大学出版社,2018:321-322.
YANG G K. Image processing, analysis and machine vision (based on LabVIEW) [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2018: 321-322.
- [11] 张德丰,张葡青.基于小波的图像边缘检测算法研究[J].中山大学学报(自然科学版),2007,46(3):39-42.
ZHANG D F, ZHANG P Q. Research on image edge detection algorithm based on wavelet[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2007, 46(3): 39-42.
- [12] HU M K. Visual pattern recognition by moment invariants[J]. Information Theory Transactions on, 1962, 8(2): 179-187.
- [13] 殷苏民,朱锦萍,王祖声,等.基于顶帽变换和最大类间方差法的图像分割方法研究[J].科学技术与工程,2014,14(7):66-70.
YIN S M, ZHU J P, WANG Z S, et al. Image segmentation based on top hat transformation and maximum inter-class variance method[J]. Science Technology and Engineering, 2014, 14(7): 66-70.
- [14] 易三莉,张桂芳,贺建峰,等.基于最大类间方差的最大熵图像分割[J].计算机工程与科学,2018,40(10):1874-1881.
YI S L, ZHANG G F, HE J F, et al. Maximum entropy image segmentation based on maximum inter-class variance[J]. Computer Engineering and Science, 2018, 40(10): 1874-1881.
- [15] FALGUNI C, DEBASHIS N, PROVAS K R. Oppositional symbiotic organisms search optimization for multi-level thresholding of color image[J]. Applied Soft Computing Journal, 2019(82): 1-19.

(责任编辑 王海蓉)