

基于包装件智能分拣的视觉尺寸测量技术

张慧敏¹, 王毅²

(1.重庆电子工程职业学院, 重庆 401331; 2.重庆大学, 重庆 400044)

摘要: **目的** 快速实现包装纸箱尺寸的机器视觉测量。**方法** 采用机器视觉技术方法, 运用双目摄像机的成像原理, 通过 SUSAN 角点提取算法结合棋盘标定法求取摄像机内外参数, 修正图像畸变, 采用 SIFT 匹配算子对左右 2 幅图像进行匹配, 找到对应的匹配特征点, 利用匹配点对的视差值恢复图像深度信息, 进而求解出包装箱的长宽高值。**结果** 对不同摆放姿态的包装箱均能实现快速测量, 机器视觉检测值与实物值相比, 其误差均在 1 cm 左右, 满足检测要求。**结论** 文中方法具有匹配精度高、鲁棒性强的特点, 能快速实现对不同摆放姿态的包装箱尺寸测量。

关键词: 双目成像; SUSAN; 特征提取; 匹配

中图分类号: TB486; TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)13-0144-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.13.024

Vision Size Measurement Technology of Packaging Parts Based on Intelligent Sorting

ZHANG Hui-min¹, WANG Yi²

(1.Chongqing College of Electronic Engineering, Chongqing 401331, China;

2.Chongqing University, Chongqing 400044, China)

ABSTRACT: The work aims to rapidly realize the machine vision measurement of the size of packaging boxes. Based on machine vision technology, according to the imaging principle of binocular camera, the SUSAN corner extraction algorithm combined with checkerboard calibration method was used to obtain the internal and external parameters of camera and image distortion correction. The two images on the left and right were matched by the SIFT matching operator. The corresponding matched feature points were found. The parallax values of matching point pairs were used to restore the image depth information, thus calculating the length, width and height of the packaging box. The result showed that the packaging boxes of different postures could be rapidly measured. Compared with the physical value, the error of machine vision detection value was about 1 cm, meeting the detection requirements. Featured by high matching accuracy and strong robustness, etc., the proposed method can rapidly measure the size of packaging boxes of different postures.

KEY WORDS: binocular imaging; SUSAN; feature extraction; matching

近年来随着网购等电子商务的高速发展, 我国快递业呈突飞猛进态势, 根据国家邮政局 2016 年的数据统计快递行业一直保持强劲增长态势, 快递件数达到 313 亿件, 较 2015 年增长 51.3%^[1]。在快递业务中 80% 货品采用纸箱包装, 国家邮政局发布《推进快递

业绿色包装工作实施方案》中明确提高包装标准化率, 降低包装耗费率, 减少运传成本。为了解决好这一问题各大快递公司均开展快递包装材料的新标准及其便捷技术的研究, 减少环境污染和资源浪费, 同时还需考虑如何高效利用仓运空间, 采用最优化理论

收稿日期: 2018-03-09

基金项目: 国家自然科学基金 (61675036); 重庆市第三批骨干教师资助计划; 重庆高等职业技术学院新技术推广项目 (GZTG201606)

作者简介: 张慧敏 (1981—), 女, 博士, 重庆电子工程职业学院副教授, 主要研究方向为数字图形处理、CAD。

在有限空间范围内合理布局体积各异的包装件, 成为快递行业急待解决的问题, 其理论应用的关键在于每个包装件的尺寸数据, 只有获得每个包装件的尺寸数据后才能有效分配仓运空间。

在快递公司物流分拣过程中对物品尺寸的自动测量要求越来越普遍。目前已出现基于红外线测量光幕的包装件尺寸测量设备, 该类设备多采用 modbus RTU 协议, 具有分辨率高, 响应时间快等特点, 测量原理是运用 3 套光幕分别测量包装箱的高度、长度和宽度, 将所测数据传送至计算机从而获得包装箱的大小, 但是这类设备需要仓储人员将包装件按照规定方向摆正, 然后进行测量, 如果包装件摆放时与规定方向有一定倾角, 则会出现尺寸测量误差, 这样仓储人员需要耗费大量体力摆正包装件, 降低了物流分拣效率。

为了有效解决这一问题, 在自动化物流分拣中实现对物品尺寸高效、快速、准确的测量, 文中提出一种基于机器视觉的包装箱尺寸快速测量技术, 在应用中响应时间快, 对任意摆放的包装箱均可进行快速测量, 并获得较高测量精度, 加快物流分拣速度, 降低错误率。

1 测量原理

计算机机器视觉技术是模拟人眼对所获取的图像进行深度信息感知的一种技术方法, 基本思想就是利用 2 台摄像机同时拍摄被测目标, 获取立体图像对, 找到图像对中的匹配点, 通过视差值计算三维坐标, 以此求取图像的几何信息, 从而实现场景重建、目标定位、尺度测量等信息。

双目立体视觉测量包装件尺寸大小, 需要建立 CCD 相机成像模型、双目视觉模型、三维重建模型等步骤^[2]。

1.1 CCD 相机模型

CCD 相机模型在成像过程中需要建立 4 个坐标系, 因此需要研究成像过程中坐标系之间的数学转换关系^[3]。

设定世界坐标系为 $OXYZ$, 摄像机坐标系为 $O_cX_cY_cZ_c$, 图像坐标系为 oxy , 图像像素坐标系记 ouv 。从图 1 可知, 空间点 P 在世界坐标系中坐标值表示为 $[X \ Y \ Z \ 1]^T$, 在像素坐标系中坐标值表示为 $[u \ v \ 1]^T$, 其对应的数学转换关系为:

$$Z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{dx} & 0 & u_0 \\ 0 & \frac{1}{dy} & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & t \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: $R = (r_{ij})_{3 \times 3}$ 为世界坐标系转化到摄像机坐标系的正交旋转矩阵; 参数 u_0, v_0 为图像平面与光轴的交点值; f 为摄像机有效焦距。式 (1) 确立了点 P 的世界坐标与图像坐标的对应关系^[4-5]。

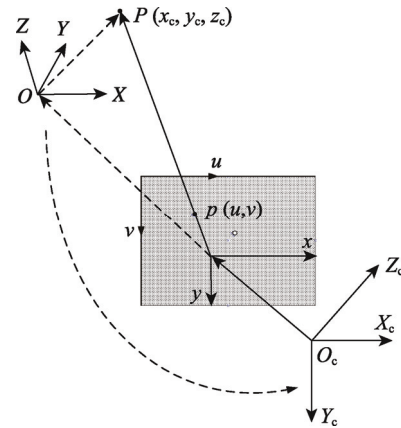


图 1 CCD 摄像机模型

Fig.1 CCD camera model

1.2 双目视觉模型

双目立体视觉通过多幅图像的视差值获取图像空间几何信息^[3,6], 一般采用双摄像机同时获取同一场的 2 幅图像, 运用相应算法找到 2 幅图像的匹配点, 重建图像的三维模型及尺寸。

双目视觉系统模型见图 2, 由图 2 可知 2 台 CCD 摄像机的成像中心之间的距离 (即基线距离) 为 B 。2 台摄像机在拍摄待测点 P 时, 左摄像机和右摄像机同时获取 P 点图像, 设定 P 点在左右 2 幅图像中的坐标分别为 $P_{\text{left}} = (X_{\text{left}}, Y_{\text{left}})$; $P_{\text{right}} = (X_{\text{right}}, Y_{\text{right}})$ 。

结合 CCD 摄像机的成像原理, 设定左摄像机的世界坐标为 $oxyz$, 图像坐标为 $O_lX_lY_lZ_l$, 左摄像机镜头的有效焦距为 f_l ; 右摄像机的世界坐标为 $o_r x_r y_r z_r$, 图像坐标为 $O_r X_r Y_r Z_r$, 右摄像机镜头的有效焦距为 f_r 。由 CCD 相机模型可知:

$$\begin{cases} S_l = \begin{bmatrix} X_l \\ Y_l \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_l & 0 & 0 \\ 0 & f_l & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \\ S_r = \begin{bmatrix} X_r \\ Y_r \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_r & 0 & 0 \\ 0 & f_r & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_r \\ y_r \\ z_r \end{bmatrix} \end{cases} \quad (2)$$

其中右摄像机坐标系与世界坐标系之间的转换关系可以表示为:

$$\begin{bmatrix} x_r \\ y_r \\ z_r \\ 1 \end{bmatrix} = [RT] \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 & r_x \\ r_4 & r_5 & r_6 & r_y \\ r_7 & r_8 & r_9 & r_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

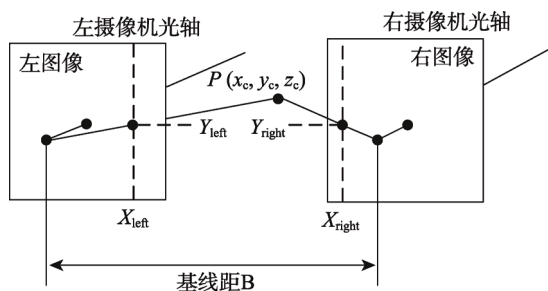


图2 双目视觉系统模型
Fig.2 Binocular vision system model

通过式(2)和式(3)数学推导,可以求得空间三维坐标的数学表达式为:

$$z = \frac{f_l(f_r t_x - X_r t_z)}{X_r(r_7 X_l + r_8 Y_l + f_l r_9) - f_r(r_1 X_l + r_2 Y_l + f_l r_3)} \quad (4)$$

$$= \frac{f_l(f_r t_y - X_r t_z)}{Y_r(r_7 X_l + r_8 Y_l + f_l r_9) - f_r(r_4 X_l + r_5 Y_l + f_l r_6)}$$

式中的 $r_1 \dots r_9$, $t_x \dots t_z$ 等参数为 $R = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{bmatrix}$,

$T = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix}$ 转换关系式中的参数; R 为左摄像机的世界

坐标系 $oxyz$ 与右摄像机的世界坐标系 $o_x y_r z_r$ 之间的旋转矩阵; T 为左右摄像机对应的原点之间平移向量。由式(4)可知,双目视觉测量需要获取左右摄像机镜头的有效焦距 f_l , f_r 、旋转矩阵 R 、平移向量 T 等参数,再通过左右摄像机的图像坐标转换关系获取图像空间坐标,进而实现空间尺寸测量。

2 包装纸箱视觉测量流程

快递包装通常采用矩形包装箱,其长宽高尺寸及摆放的位置直接影响体积测量精度要求。包装纸箱在经过传送线时,由于受传送线的宽度、高度影响,应控制在一定尺寸内。文中以常规传送线对包装箱长宽高的要求为例开展研究,见图3。双目视觉测量包装箱尺寸的流程见图4。



图3 普通包装箱体
Fig.3 General packaging box

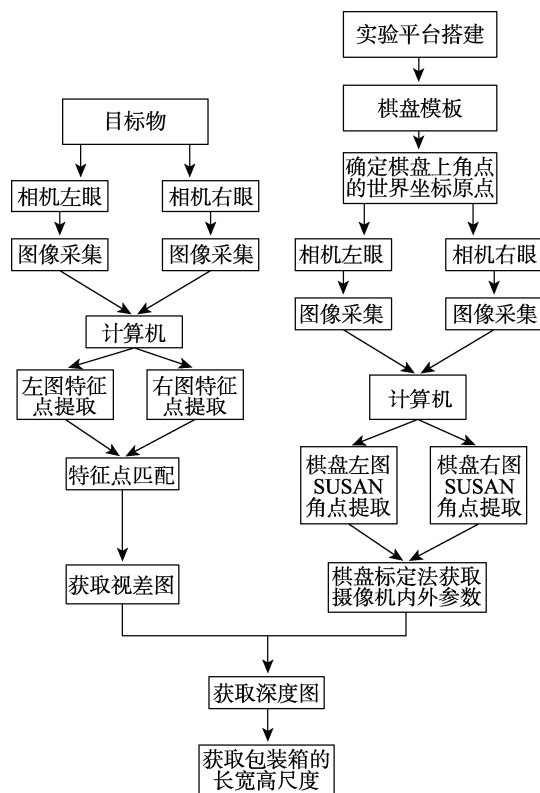


图4 双目视觉测量包装箱尺寸的流程
Fig.4 Flowchart of the binocular visual measurement of packaging box size

3 双目视觉测量模型参数的标定

双目视觉测量模型参数的求取至关重要,其中难点在于相机标定,修正图像畸变。常用的相机标定法有自主标定法、传统标定法、棋盘标定法等方法,其中棋盘标定法对设备要求不高,操作简单,标定精度较高,鲁棒性较好,而其他方法设备精度要求高,操作复杂,实用性差,因此文中选用棋盘标定法作为相机定标的方法。

3.1 角点提取算法

参考图4,首先进行角点提取,标定物采用平面棋盘网格,假设棋盘上各点 $Z_w=0$, X_w , Y_w 值通过测量获得。棋盘图中格点对应像点坐标值采用 SUSAN 角点检测算法获取^[7]。SUSAN 角点检测算法基本原理:通常图像在角点处灰度值会呈现较大的差异,设计一个圆形模板,将模板中心点称为核心点,核心点周围其他像素点构成的集合称为核心点邻域,在角点检测的过程中将邻域内的像素点与核心点的灰度值进行对比。在邻域内搜索灰度值与核心点灰度值近似的像素点,将符合条件的像素点构成的集合称为核值相似区 USAN(Univalence Segment Assimilating Nucleus)^[8]。USAN 的3种常见情况见图5。

从图5中可知 USAN 所占区域大于圆形模板区

域一半以上时,则认定核心点处于图像较为平滑的位置;USAN 所占区域等于圆形模板区域一半时,则认定核心点处于图像边界区;USAN 所占区域小于圆形模板区域 1/4 时,则认定核心点正好处在角点处。由此作为角点提取算法依据。

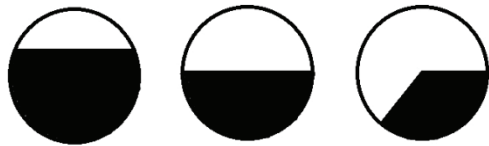


图 5 USAN 的 3 种常见情况
Fig.5 Three common cases of USAN

3.2 棋盘标定法

棋盘标定算法是从不同角度拍摄获取图像信息,图像目标为标准棋盘格,然后对摄像机进行标定的一种算法。该标定实验中分为以下 3 个步骤进行^[9]。

1) 计算出单应矩阵。根据第 1 节所述 CCD 成像模型,在确立世界坐标系后,棋盘上所有点的世界坐标均为已知,通过拍摄的棋盘图像获取像素坐标,然后运用张氏棋盘标定算法^[3,9]求得棋盘格的平面坐标值。这样,通过棋盘格上的特定点就可以求取单应矩阵。

2) 求解摄像机内部参数、外部参数。在求得单应矩阵后,利用单应矩阵来求解摄像机的内部参数及外部参数。计算过程先通过单应矩阵结合线性方程求解摄像机的内部参数,再根据内部参数和单应矩阵求解摄像机的外部参数。

3) 外理径向畸变。在标定过程中,由于摄像机镜头的曲面效应,会出现图像畸变,由于包装箱尺寸测量精度较高必须考虑图像中径向畸变因素,这里通常采用极大似然估计算法进行参数优化,抵消图像畸

变,提升测量精度。

3.3 相机标定的步骤和结果

双目摄像机选用定基线双目摄像头,每个摄像头采用 OV9714 型图像传感器,分辨率为 2560×720,采样帧频为 30 帧/s,镜头选用镀膜可变焦工业镜头;镜头的有效焦距为 3.1 mm,镜头中心距为 60 mm。

1) 实验采用标准的 8×8 棋盘格,每格为 27 mm×27 mm 正方形方格,使用国际象棋的棋盘作为实物,见图 6。

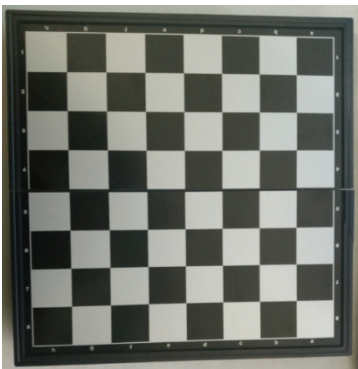


图 6 棋盘格示意
Fig.6 Checkerboard diagram

2) 移动标定板,使用双目摄像机对不同摆放位置的标定板进行拍照,拍摄图像样本次数越多误差越小。为了提升标定参数精度,摆放 20 组不同位置的棋盘格,分别采集 20 组对应图像。

3) 采用 SUSAN 角点检测算法检测棋盘格图像角点,并获取角点的二维坐标。

4) 计算标定摄像机内部参数(见表 1)。

5) 计算标定摄像机外部参数(见表 2)。

表 1 摄像机内部参数
Tab.1 Camera internal parameters

内部参数	左相机	右相机
焦距	23.4843±2.02441	25.4254±2.3859
主点	[65.0615 103.1014]±[2.5345 2.8409]	[68.1561 160.213]±[1.4162 2.1998]
畸变	[-0.1510 -1.3439 0.0065 0.0151 0.0012]	[0.3522 -1.1215 0.0132 0.0009 0.0003]

表 2 摄像机外部参数
Tab.2 Camera external parameters

旋转向量 R		平移向量 T	
[0.0501 0.0229 -0.0007]	±[0.0610 0.0211 0.0002]	[5.9236 0.1823 -0.0189]	±[0.2100 0.0293 0.0082]

4 包装箱长宽高的测量实验

实验按照第 2 节所述视觉测量包装箱长宽高流程设计了实验环境,采用与模型标定相同的实验环境与拍摄设备,将棋盘格板替换为待测包装箱进行实

测。现场实测见图 7。

文中采用特征点匹配算法进行图像立体匹配^[10]。因为特征点是关键信息的像素点,这类像素点数量不多,但包含了图像中重要信息。图像中的特征信息是对图像灰度信息抽象处理后,依据算法搜索的一些共

同特征后获得的。采用基于尺度不变特性变换(SIFT)的立体匹配算法^[11-12],SIFT 算子具有独特的稳定性,同时还具备旋转不变性和缩放特性。



图 7 现场实测
Fig.7 Field measurement

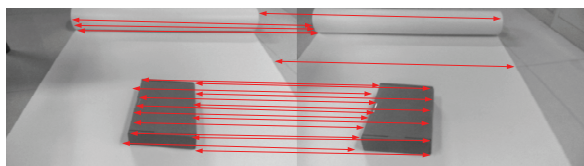


图 8 采用 SIFT 算法匹配结果
Fig.8 Matching results with SIFT algorithm

从图 8 可以看出,包装箱体的匹配对数仅用 14 个对点,正确率达到 91%,其中包装箱左边缘匹配正确率较高,包装箱右边缘匹配没有完全识别。

利用 SIFT 匹配算法将左右 2 幅图像进行匹配,找到对应的匹配特征点,利用匹配点对之间的视差值恢复空间点的深度信息,求解出空间点的三维坐标^[13]。立体点的匹配完成后,利用 2 幅二维图像之间的匹配点对求出视差值,生成相应的视差图,见图 9。

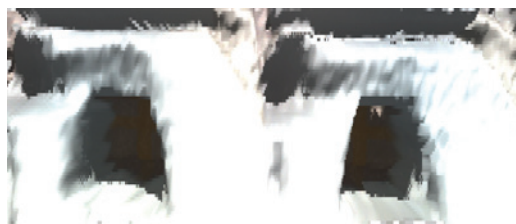


图 9 生成的视差
Fig.9 Generated parallax

包装箱体尺寸可以通过边缘检测后,利用切线的直线约束关系,采用对应点匹配方法进行直线拟合,通过直线拟合就可以提取边缘点像素坐标,见图 10。

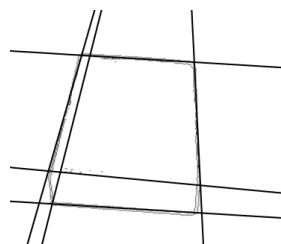


图 10 包装箱体边缘检测
Fig.10 Edge detection of packaging box

在求取到包装箱体边缘像素坐标后,可以利用图像重建技术重构包装箱边缘的空间三维点坐标系,然后再通过直线拟合及空间异面距离计算公式等数学方法^[14],求得包装箱的长度、宽度、高度值。

为了验证算法的实用性,实验中的包装箱处于不同的摆放姿态^[15],对其进行拍照处理,见图 11。

实验采用普通包装纸箱,其游标卡尺测量值分别为:长 25.20 cm、宽 20.10 cm、高 7.00 cm。通过实验对图 11 中 6 种不同摆放位置的包装纸箱进行双目视觉测量,包装箱尺寸测量结果见表 3。

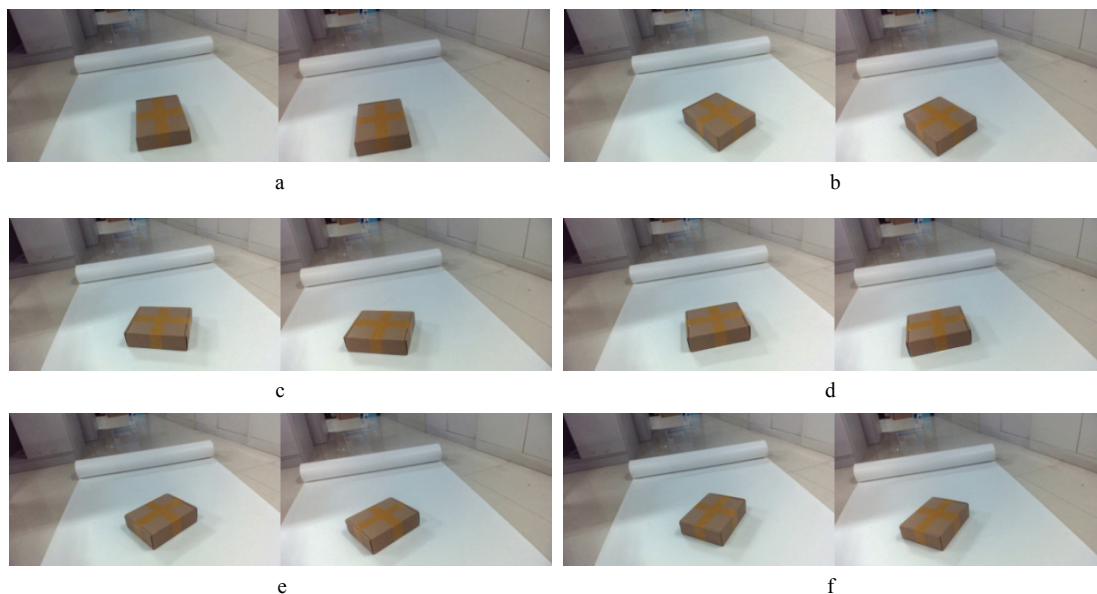


图 11 包装箱 6 种摆放姿态双目 CCD 实验
Fig.11 Binocular CCD experiment for packaging box with 6 kinds of postures

表 3 包装纸箱的尺寸测试值
Tab.3 Test value of the size of the packaging box cm

测试序号	长度	宽度	高度
1	23.86	19.87	7.85
2	24.15	19.68	7.25
3	24.26	19.54	7.36
4	24.73	19.03	7.34
5	24.16	19.22	7.24
6	23.79	19.42	7.31

从表 3 中测量结果可知, 机器视觉检测与游标卡尺检测比较, 长度最大误差为 1.41 cm, 宽度最大误差为 1.07 cm, 包装箱高度最大误差为 0.85 cm, 测量误差精度均在 1.1 cm 左右, 满足检测要求。实验还开展了不同大小的包装箱体测量,其测量结果见表 4。

表 4 不同尺寸的包装纸箱测试值
Tab.4 Test value of different sizes of packaging box cm

测试样品	参数	标准尺寸	检测尺寸	误差值
样品 1	长度	16.4	15.8	0.6
	宽度	12.2	11.7	0.5
	高度	3.0	2.3	0.7
样品 2	长度	23.0	22.3	0.7
	宽度	23.0	22.2	0.8
	高度	26.0	24.8	1.2

从表 4 中测量结果可知, 样品采用 2 种不同的包装箱体, 样品 1 的高度较小, 样品 2 的高度较大, 高度测量值误差较大, 最大误差为 1.2 cm, 其他测量值误差均小于 1 cm, 说明识别算法不仅能对不同摆放姿态的箱体检测, 对不同大小箱体的检测也有较好的一致性。同时也看到算法对不同摆放位置的包装箱边缘敏感性较强, 说明算法具有改进和提升空间。

5 结语

文中给出了一种基于双目 CCD 视觉检测包装箱长宽高尺寸的方法, 有效解决对任意摆放的包装箱进行长宽高尺寸测量的问题, 减轻仓储人员的劳动强度, 满足了自动化物流分拣中高效、快速、准确地测量物品尺寸大小的要求, 所研究的包装箱尺寸快速测量算法, 响应时间快、测量精度较高。

参考文献:

[1] 苏迪. 国家邮政局出台实施方案推进快递业绿色包装工作实施方案[J]. 中国邮政报, 2016, 1(8): 1.
SU Di. State Post Bureau of The People's Republic of China To Implementation Plan for Promoting Green

Packaging of Express Delivery Industry[J]. China Post News, 2016, 1(8): 1.

[2] 侯跃谦, 李冠楠, 谭庆昌. 双目视觉技术在结构件尺寸测量中的应用[J]. 计算机应用与软件, 2013, 30(9): 137—140.
HOU Yue-qian, LI Guan-nan, TAN Qing-chang. Application of Binocular Vision Technology in Strctural Parts Size Measurement[J]. Computer Applications and Software, 2013, 30(9): 137—140.

[3] 马莉. 基于双目视觉三维重建方法研究[D]. 太原: 中北大学, 2012.
MA Li. Research of The Method of 3D Reconstruction Based on Binocular Stereo Vision[D]. Taiyuan: North University of China, 2012.

[4] LINMI T, ZHUONING Y, GUOJIAN W. Cognitive Reasoning Method for Behavior Understanding[J]. Journal of Image and Graphics, 2014, 19(2): 167—174.

[5] KENNEDY J, EBERHART R C. Particle Swarm Optimization[C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, 2005: 1945—1948.

[6] 龙邹荣, 冯鹏, 杨荣来, 等. 复杂场景双目立体视觉测量精确定位系统研究[J]. 光电子激光, 2017, 28(11): 1252—1258.
LONG Zou-rong, FENG Peng, YANG Rong-lai, et al. Research of Binocular Stereo Vision Measurement System for Complex Background[J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2017, 28(11): 1252—1258.

[7] HUANG T S, FAUGERAS O D. Some Properties of The Matrix in Two-view Motion Estimation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2009, 11(12): 1310—1312.

[8] SUN J, XU W, FENG B. A Global Search Strategy of Quantum-Behaved Particle Swarm Optimization[C]// Proceedings of IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems, 2004, 1(11): 111—116.

[9] 申心兰, 王仲, 刘常杰, 等. 一种基于棋盘格的高精度分区域相机标定方法[J]. 测试科学与仪器(英文版), 2016, 7(4): 342—348.
SHEN Xin-lan, WANG Zhong, LIU Chang-jie, et al. A New Technique for High Precision Sub-regional Camera Calibration Based on Checkerboard Pattern[J]. Journal of Measurement Science and Instrumentation, 2016, 7(4): 342—348.

[10] 杨洋, 项辉宇, 薛真, 等. 模式图像的特征提取与配准方法[J]. 包装工程, 2017, 38(1): 185—190.
YANG Yang, XIANG Hui-yu, XUE Zhen, et al. Feature Extraction and Matching Algorithm of Pattern Image[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(1): 185—190.

[11] 陈月, 赵岩, 王世刚. 图像局部特征自适应的快速 SIFT 图像拼接方法[J]. 中国光学, 2016, 9(4): 415—422.
CHEN Yue, ZHAO Yan, WANG Shi-gang. Fast Image Stitching Method Based on SIFT with Adaptive Local

- Image Feature[J]. Chinese Optics, 2016, 9(4): 415—422.
- [12] 郭复胜, 高伟. 基于辅助信息的无人机图像批处理三维重建方法[J]. 动化学报, 2013, 39(6): 834—845.
GUO Fu-sheng, GAO Wei. Batch Reconstruction from UAV Images with Prior Information[J]. Acta Automatica Sinica, 2013, 39(6): 834—845.
- [13] LI Sheng-hui, ZHANG Bao-long, SHI Rui-zhi. Comparison of Two Image Matching Algorithms Based on Real-time Image Acquisition[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(9): 120—123.
- [14] 张浩鹏, 魏全茂, 张威, 等. 基于序列图像的空间目标三维重建[J]. 北京航空航天大学学报, 2016, 42(2): 273—279.
ZHANG Hao-pen, WEI Quan-mao, ZHANG Wei, et al. Sequential-image-based Space Object 3D Reconstruction[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2016, 42(2): 273—279.
- [15] 傅丹. 基于直线特征的空间目标三维结构重建和位姿测量方法研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2008.
FU Dan. Researches on Three-dimensional Structure Reconstruction and Pose Measurements Based on Line Feature For Space Targets[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2008.
- [16] 吕海峰, 牛凯强, 刘静, 等. 软包装液体体积测量技术[J]. 包装工程, 2016, 37(7): 61—65.
LYU Hai-feng, NIU Kai-qiang, LIU Jing, et al. Measurement Technology for the Volume of Liquid in Soft Package[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(7): 61—65.