

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2314896

基于双目视觉的纸箱尺寸测量立体匹配方法研究^{*}

顾浩文^{1,2} 邹光明^{1,2} 王众玄^{1,2} 许艳涛^{1,2}

(1. 武汉科技大学冶金装备及其控制教育部重点实验室 武汉 430081;
2. 武汉科技大学机械传动与制造工程湖北省重点实验室 武汉 430081)

摘要: 针对智能仓库物资自动化出入库流程,对于储存于纸箱中物资的出入库,需进行纸箱尺寸测量、纸箱拆解、物资倾倒、物资拣选等任务,因此首先应对纸箱进行无人化尺寸测量,提出自适应 GrabCut 的 SGBM 改进算法,实现纸箱尺寸自动测量。该方法首先完成双目相机的标定,利用 NLM 算法对采集的图片进行去噪处理,完成纸箱图片的立体校正,采用 NCC、SGBM、AD-Census 三种立体匹配算法得到纸箱的视差图,在分析其效果的基础上,提出基于模板匹配自适应 GrabCut 的 SGBM 改进算法用于纸箱立体匹配并得到其尺寸信息。实验结果表明,改进算法可以实现纸箱尺寸信息的精确测量,尺寸误差小于 10 mm,满足实际的生产要求。

关键词: 双目视觉;纸箱;SGBM 算法;模板匹配;GrabCut 算法

中图分类号: TP242 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4050

Research on three-dimensional matching method of carton size recognition based on binocular vision

Gu Haowen^{1,2} Zou Guangming^{1,2} Wang Zhongxuan^{1,2} Xu Yantao^{1,2}

(1. Key Laboratory of Metallurgical Equipment and Control Technology, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China; 2. Key Laboratory of Mechanical Transmission and Manufacturing Engineering of Hubei Province, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China)

Abstract: For the automated access process of intelligent warehouse materials, for the access of materials stored in cartons, it is necessary to carry out tasks such as carton size measurement, carton disassembly, material dumping, material picking, etc. Therefore, the carton should firstly be unmanned size measurement, and the SGBM improvement algorithm of Adaptive GrabCut is proposed to realize the automatic measurement of carton size. The method firstly completes the calibration of binocular camera, uses NLM algorithm to denoise the collected pictures, completes the stereo correction of carton pictures, uses NCC, SGBM, AD-Census three stereo matching algorithms to get the parallax map of carton, on the basis of analyzing the effect, proposes the SGBM improvement algorithm based on the template matching Adaptive GrabCut to be used for the stereo matching of carton and get its size information. The experimental results show that the improved algorithm can realize the accurate measurement of carton size information, and the size error is less than 10 mm, which meets the actual production requirements.

Keywords: binocular vision; cardboard box; SGBM algorithm; template matching; GrabCut algorithm

0 引言

随着工业化进程的发展,视觉系统在工业领域的应用范围越来越广,其利用相机代替人眼,自动完成工业生产过程的物体尺寸测量、产品的缺陷检测、定位、物体识别等任务。在现代物流和仓储管理中,实现纸箱尺寸无人化测量对于提高效率、减少人为错误和优化操作流程至关重要。

视觉系统大体可分为单目视觉系统和双目视觉系统,单一的视觉系统只能得到目标的二维信息,无法获取目标物体的三维信息。而双目视觉技术利用左右相机获取同一物体图像,分析其在两成像面的差异信息,建立目标在三维空间的坐标信息。因此在智能仓储中如何通过双目视觉系统搭建具有快速、准确、成本低廉、非接触^[1]的测量系统尤为重要。

收稿日期:2023-11-01

* 基金项目:国家自然科学基金(51875418)、湖北省科技厅青年基金(2021CFB135)项目资助

目前,双目测量技术测量的应用十分广泛。陈果等^[2]提出基于双目立体视觉的带电作业机器人目标识别与定位方法,其利用改进的 SAD-Census 算法,得到深度信息,再运用 YOLOV5 实现目标识别定位,其方法能达到 1.2% 的定位精度,但是其引入窗口均值像素会增加算法的计算复杂性,对硬件的要求较高。蒋文萍等^[3]提出一种基于改进 Census 变换的自适应局部立体匹配算法,通过自适应支持窗口改进 Census 变换,引入 Tanimoto 系数与 Hamming 距离,融合颜色或亮度差作为初始匹配代价计算,结合多重策略进行视差优化等方法求的深度信息,但是在视差不连续区域仍存在较多的误匹配。郑如新等^[4]提出了一种提取鞍点法来对工件进行定位,并且利用求平面向量来确定工件高度尺寸的方法,该方法在工件中心和工作台表面贴上鞍点,进行了鞍点的识别和鞍点三维坐标的求解,能够较好地测出工件的高度,但是双目标定算法处理时间过长,效率不高。郭明等^[5]提出了一种基于双目视觉的零件位姿测量系统,利用 Harris 特征对在待加工零件上放置的不等腰直角三角形的角点进行检测并匹配,完成对待加工零件的初始位姿测量。乔超等^[6]提出将基于 Roberts 算法的改进 SGBM 算法应用于立体匹配,利用视差图中的距离信息测出可转位刀片厚度,但是该算法没有考虑到光照差异导致图像质量下降,从而影响立体匹配的准确性。马大智等^[7]提出了一种基于双目视觉配合工业机器人的测量系统,利用深度学习目标检测分割出感兴趣区域,减少了高反光表面对立体匹配的影响。冯曙明等^[8]利用双目智能巡检机器人,结合图像处理和图像分析技术,实现了电缆线表面绝缘缺陷检测和直径测量,但该方法无法实现自动测量。

因此,针对于纸箱尺寸测量、纸箱拆解、物资倾倒、物资拣选等任务,首先应对纸箱进行无人化尺寸测量,为后续工作流程作准备。但考虑到现场环境等因素对测量精度的影响,现有的基于半全局块匹配(semi-global block matching, SGBM)算法无法满足现场实际需求,因此本文提出非局部均值(non-local means, NLM)去噪的自适应图像分割(GrabCut)的 SGBM 改进算法。经实验验证,该方法有效解决了环境噪声和背景的影响,其测量速度和准确性满足现场实际需求。

1 双目视觉系统模型与相机标定

双目视觉系统由两个相机来代替双眼,不依赖设备主动投射光源对同一场景进行拍摄。通过对左右照片进行立体匹配得到同名点,获取视差信息,根据三角测量原理^[9]得到场景内物体的深度信息。

1.1 双目系统坐标系

对于双目系统而言,其本质过程是 4 种坐标系的相互转化,建立像素坐标系与世界坐标系的关系,其关系如图 1 所示。4 种坐标系^[9]分别为像素坐标系($O_0 - uv$)、图像坐标系($O_1 - xy$)、相机坐标系($O_c - X_c Y_c Z_c$)、世界坐标系

($O_w - X_w Y_w Z_w$)。其中 O_0 与 O_1 之间距离为相机焦距 f , 点 $P(X_w, Y_w, Z_w)$ 是世界坐标中真实存在的一点,其在图像中的成像点为点 $p(x, y)$ 。

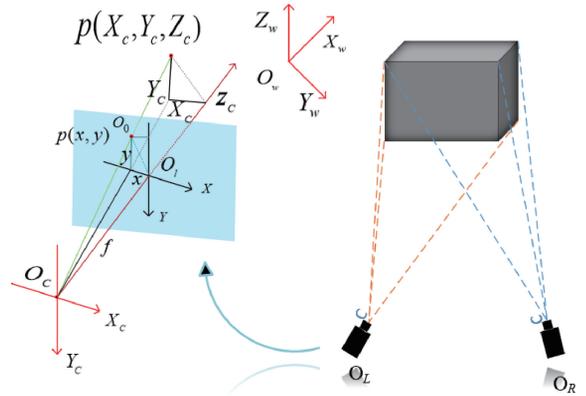


图 1 双目视觉模型

像素坐标系与世界坐标系之间的转化关系如式(1)。

$$Z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & f_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{T} \\ - \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: \mathbf{R} 为旋转矩阵和 \mathbf{T} 为平移矩阵,图像中心点坐标为(u_0, v_0), f_x, f_y 分别为 X 和 Y 方向广义焦距。

1.2 相机畸变及标定

在相机采集过程中,由于透镜的边缘部分和中心部分的放大倍率不一样,会造成图像产生畸变。其主要的畸变为径向畸变(不同位置放大倍率不一致造成)和切向畸变(成像表面与透镜的位置不平行产生)

对于采集的图像需要进行前期的畸变矫正,对于径向畸变采用如式(2)进行调节。

$$\begin{cases} x' = x + \bar{x}(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) \\ y' = y + \bar{y}(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) \end{cases} \quad (2)$$

对于切向畸变采用如式(3)进行调节。

$$\begin{cases} x' = x + \bar{x}(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + p_1(r^2 + 2\bar{x}^2) + 2p_2 \bar{x} * \bar{y} \\ y' = y + \bar{y}(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + p_2(r^2 + 2\bar{y}^2) + 2p_1 \bar{x} * \bar{y} \end{cases} \quad (3)$$

上述模型中, (x', y') 为校正后的坐标, (x, y) 为一次畸变(未校正前的图像下的)坐标。

本文采用 Matlab 中 Stereo Camera Calibration 工具箱对左右相机所采集的不同位置的标定板进行标定,根据张正友^[10]棋盘标定法获取相机的内参和外参。本文使用的相机为两台型号为 MVL-HF-0628M-6MP 的摄像头进行图片的采集,使用平面标定表为黑白棋盘格,其内角点数量为 15×10 , 每个格子大小为 $25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$ 。标定过程共

采集了 32 组不同姿态的标定照片,剔除误差较大的图片,保留 16 组标定照片,如图 2 所示。

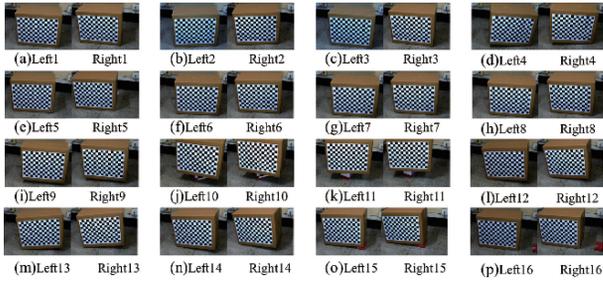


图 2 标定采集图片

对于一些标定误差过大的图像进行剔除,标定的误差

结果为 0.295,其结果满足测量系统的精度要求,标定板姿态与空间位置如图 3 所示,左右相机的标定结果如表 1 所示。

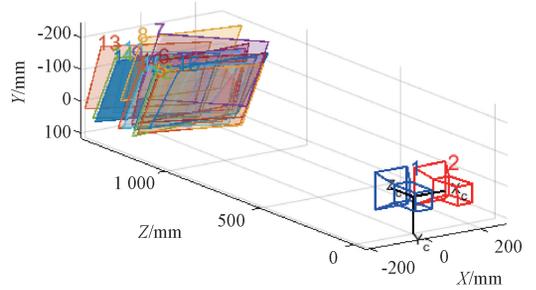


图 3 定板空间位置姿态

表 1 左右相机内部参数

名称	左相机	右相机
内参	$\begin{pmatrix} 2\ 542.937\ 453 & 0 & 0 \\ -6.928\ 484\ 6 & 2\ 560.250\ 48 & 0 \\ 593.044\ 456\ 9 & 593.420\ 129\ 8 & 1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 2\ 552.670\ 666 & 0 & 0 \\ -4.619\ 463\ 792 & 2\ 573.258\ 974 & 0 \\ 619.236\ 573\ 7 & 591.586\ 717\ 6 & 1 \end{pmatrix}$
径向畸变	$\begin{aligned} k_1 &= -0.035\ 100\ 894 \\ k_2 &= 0.508\ 636\ 348 \\ k_3 &= -6.266\ 672\ 691 \end{aligned}$	$\begin{aligned} k_1 &= -0.029\ 797\ 481 \\ k_2 &= 0.110\ 159\ 26 \\ k_3 &= 0.490\ 561\ 155 \end{aligned}$
切向畸变	$\begin{aligned} p_1 &= 0.012\ 663\ 822 \\ p_2 &= -0.0110\ 107\ 01 \end{aligned}$	$\begin{aligned} p_1 &= 0.014\ 227\ 99 \\ p_2 &= -0.009\ 715\ 744 \end{aligned}$
旋转矩阵	$\begin{pmatrix} 0.998\ 757\ 642 & 0.001\ 070\ 437 & 0.049\ 819\ 934 \\ -0.000\ 356\ 003 & 0.999\ 897\ 013 & -0.014\ 346\ 981 \\ -0.049\ 830\ 161 & 0.014\ 311\ 421 & 0.998\ 655\ 165 \end{pmatrix}$	
平移矩阵	$[-140.261\ 904 \quad -2.125\ 580\ 123 \quad 15.503\ 482\ 84]$	

2 立体匹配识别实验方法

本文中所识别的纸箱为某电力仓库的纸箱,纸箱实际尺寸分别为 $(L \times W \times H, \text{单位} \text{为} \text{mm})$: $580 \times 380 \times 480$ 、 $475 \times 285 \times 380$ 和 $385 \times 295 \times 290$,将此 3 种类型纸箱分别记为 A、B、C 类。

针对现场对纸箱图片采集过程中,会存在人眼无法察觉的噪声,对后续的立体匹配准确性会造成影响,选择合适的图片噪声处理方法尤为重要。以电力物资纸箱为目标的双目测量系统研究较少,选取实用于现场的算法尤为重要,其中算法处理速度要快并且测量尺寸误差要小。基于现场的要求提出以下的实验流程:第一,采用 NLM 和全变分图像算法 (total variation, TV) 对图像进行去噪声处理;第二,选择合适的去噪声算法对处理后的图片进行校正;第三,采用局部立体匹配算法 (normalized cross correlation, NCC)、SGBM 和局部结合半全局匹配算法 (adaptive census transform, AD-Census) 对去噪声的图片进行处理,分析 3 种算法所得视差图成像效果好坏,选择

合适的立体匹配算法;第四,对选取的算法进行改进。其主要流程如图 4 所示。

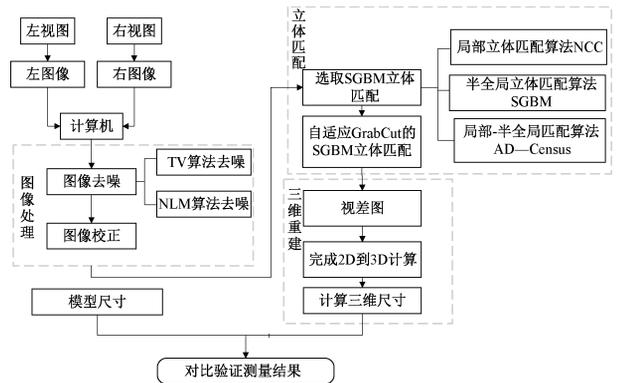


图 4 实验方法流程

3 目标纸箱立体匹配与实验

3.1 图像去噪处理

由于两张图片在拍摄过程,图片会因传感器的材料、

采集环境、电路的结构等诸多因素影响,使得图片产生令人眼看不见的噪声,因此需要进行去噪处理。

去噪算法前期研究者广泛使用的是邻域像素的滤波方法,但是该方法只考虑了有限窗口像素灰度值的灰度信息,并没有考虑到整体图像的像素分布以及窗口内像素的统计信息。因此本文采用 NLM(非局部去噪算法)和 TV 算法(全变分图像去噪算法)对图片进行去噪声处理。

TV 去噪算法主要是依靠梯度下降法对图像进行平滑处理。TV 通过建立能量泛函及其约束条件,利用变分原理,求得 E-L 方程^[11]在初始条件下求解近似解。其主要原理如式(4)。

$$J(u) = \iint_{x,y \in image} |\nabla u| dx dy = \iint_{x,y \in image} \sqrt{u_x^2 + u_y^2} dx dy \quad (4)$$

式中: u_x, u_y 是像素在 x, y 方向的梯度。

NLM 去噪算法主要使用自然图像中普遍存在的冗余信息来去噪,它利用了整幅图像来去噪,利用了像素块为单位在图像中寻找相似区域,求取区域的平均值^[12],计算公式如式(5)。

$$\tilde{u}(x) = \sum_{y \in l} w(x, y) \times v(y) \quad (5)$$

式中:像素点的相似度用中权值 w 表示, $v(y)$ 表示噪声图片的像素, $\tilde{u}(x)$ 表示去噪后的图像。处理后的 B 类纸箱效果如图 5 所示。

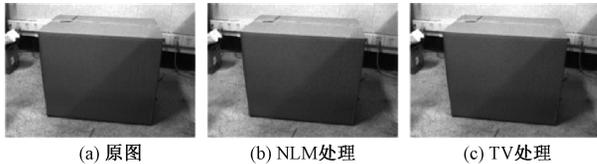


图 5 图像去噪结果

对于去噪图片,采用峰值信噪比(peak signal-to-noise ratio, PSNR)和结构衡量指标(structure similarity index measure, SSIM)衡量去噪效果。PSNR 基本表达式为峰值信号的能量与噪声的平均能量之比,如式(6)。

$$MSN = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \|I(i, j) - K(i, j)\|^2 \quad (6)$$

$$PSNR = 10 \lg \left(\frac{(2^n - 1)^2}{MSN} \right) \quad (7)$$

式中: MSN 是原图像与经过滤波去噪后图像之间均方误差; $(2^n - 1)^2$ 是图像信号最大值的平方。

SSIM 模型将参考图像和失真图像分别从亮度、对比度和结构 3 个方面进行比较,加权乘积得到子图像的结构相似度,最后将所有子图像结构相似度进行平均获得 SSIM 值^[13]。主要公式如式(8)~(11)所示。

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha [c(x, y)]^\beta [s(x, y)]^\gamma \quad (8)$$

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1} \quad (9)$$

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2} \quad (10)$$

$$s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3} \quad (11)$$

式中: $l(x, y), c(x, y), s(x, y)$ 分别为参考图像与待测失真图像间的亮度相关函数、对比度相关函数和结构相关函数; μ_x, μ_y 为 2 幅图像亮度均值; σ_x, σ_y 为标准差; σ_{xy} 为协方差; C_1, C_2, C_3 取很小的正常数,防止分母为零或接近于零而出现不稳定现象; α, β, γ 均为正数,用来调整亮度、对比度、结构相关度的权重。 $0 < SSIM(x, y) \leq 1$, 越接近于 1, 表明两幅图像的相似性越强。

通过统计去噪前后的图像计算的 PSNR 和 SSIM 来评估滤波效果,得到的计算结果如图 6 所示。

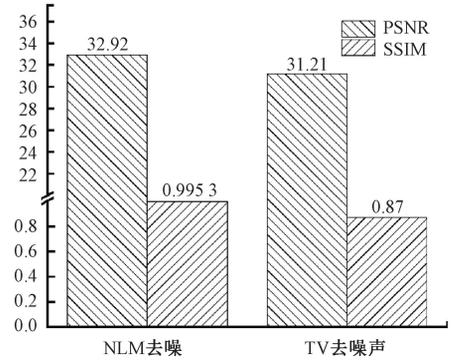


图 6 PSNR 和 SSIM 数据

由图 6 数据可知, NLM 去噪效果优于 TV 去噪。经过 NLM 处理后的图像 PSNR 值为 32.92 dB, SSIM 数值最大为 0.9953; 经过 TV 处理后的图像 PSNR 值为 31.21 dB, SSIM 数值最大为 0.87。可知 NLM 处理后的图像与 TV 处理失真小, 图像清晰。

3.2 去噪图片立体校正

立体校正的主要目的是消除和对齐左右两个相机的视图, 为后续的立体匹配减少计算量, 以提高效率和提高精准性。本文采用 Bouguet 立体校正算法, 通过像素的平面透视变换, 使双目系统最接近理想状态, 左右图像的重投影误差最小。校正过程如下: 利用标定的结果对双目图像进行畸变校正, 使得到的图形投影畸变达到最小, 从而使图像的观察面积达到最大化; 将两张图片进行一半 R 矩阵的旋转, 使得摄像机的图像平面在同一个面上; 针对同一平面的图像进行平移矩阵 T 计算, 使其极线平移到同一行上面, 同时使得基线也平行。校正过程中图 7(a) 为校正前示意图、图 7(b) 为校正后示意图, 整体示意如图 8 所示。

经过校正后的 B 类箱子左右视图结果如图 8 所示。

3.3 立体匹配

鉴于以纸箱为研究对象的双目测量较少, 为了选取合适的算法, 选取局部立体匹配算法、半全局立体匹配算法和局部结合半全局匹配算法进行处理, 分析其测量速度和准确性。本文采用 3 种不同立体匹配稠密化算法:

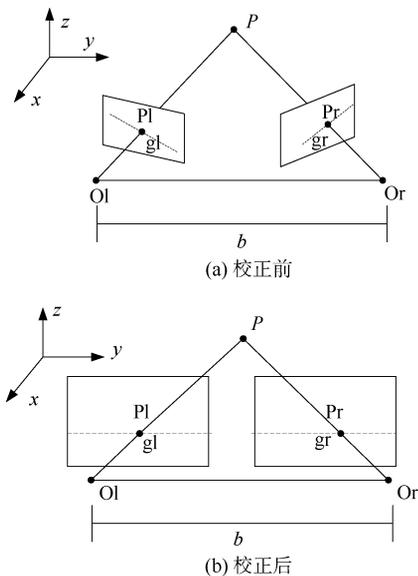


图 7 校正示意图



图 8 去噪立体校正

NCC^[14]、SGBM^[15]、AD-Census^[16]。稠密匹配在匹配过程中,是从左右两个相机采集到的图像中寻找同名点,根据视差计算出该点的深度信息^[17]。

SGBM 立体匹配主要计算方法分为以下 4 部分:

1) 预处理。利用 Sobel 算子对输入的两张图片进行处理,再将处理后的图片遍历每个像素点,根据式(12)函数获得新的图像。

$$P_{NEW} = \begin{cases} 0, & P < -pre \\ P + pre, & -pre \leq P \leq pre \\ 2 \cdot pre, & P \geq pre \end{cases} \quad (12)$$

式中: P 为像素值; P_{NEW} 为处理后的图像。

2) 代价计算。这部分由两个部分组成:处理后图像获得梯度信息,利用采样方法获取梯度代价;原图像经过采样得到 SAD 代价,如式(13):

$$C(x, y, d) = \sum_{i=-n}^n \sum_{j=-n}^n |L(x+i, y+j) - R(x+d+i, Y+i)| \quad (13)$$

3) 动态规划。动态规划算法会出现拖尾效应,图片视差突变的位置会产生错误的匹配。而半全局算法则是利用多个方向上的信息,来消除错判匹配,能够有效弱化动态规划算法中产生的拖尾效应。SGBM 本质上还是采用的最优化的能量函数,通过 WTA 选择每个像素点的视差,其全局能量函数如式(14):

$$E(d) = \sum_p (C(p, d_p) + \sum_{q \in N_p} p_1 T[|d_p - d_q| = 1] + \sum_{q \in N_p} p_2 T[|d_p - d_q| > 1]) \quad (14)$$

式中:视差 d 的能量函数为 $E(d)$, 像素点为 p , p 点的视差为 d_p , $C(p, d_p)$ 表示着 p 点以 d_p 为视差的代价值; N_p 表示 p 点的邻域。 p_1 与 p_2 表示为惩罚系数。文本采用 SGBM 默认的 4 条路径,其路径规划具体表达如式(15)。

$$L_r(p, d) = C(p, d) + \min(L_r(p-r, d)), \\ L_r(p-r, d-1) + p_1, L_r(p-r, d+1) + p_1, \\ \min_i L_r(p-r, i) + p_2 - \min_k L_r(p-k, k) \quad (15)$$

式中: p_1 与 p_2 表示为惩罚系数,并且 p_1 的常数项要小于 p_2 的常数项,其数学表达为式(16),其中 $channels$ 为匹配图像的通道数, $SADWindowSize$ 为 SAD 算法中的窗口,窗口越大,计算时间越多。

$$P = x \times channels \times SADWindowSize^2 \quad (16)$$

4) 后处理。后处理主要包含亚像素插值、左右一致性检测、连通域噪声滤波、唯一性检测。唯一性检测的视差窗口范围内的最低代价一般是次代价的 1.05~1.1 倍时,该最低代价才能用作为该点像素的视差值;亚像素插值考虑到真实场景是连续的,使得生成的物体表面的视差变得更加平滑;左右一致性检测主要是消除错误的匹配点,左右图像同名视差的差值绝对值在阈值之内,视差才能是正确的。阈值一般取 1 或 2;连通域噪声滤波主要是消除噪声块。

对预处理后的图像分别进行 NCC、AD-Census 和 SGBM 立体匹配, A, B, C 代表三种不同尺寸的纸箱,其结果视差图如图 9 所示。

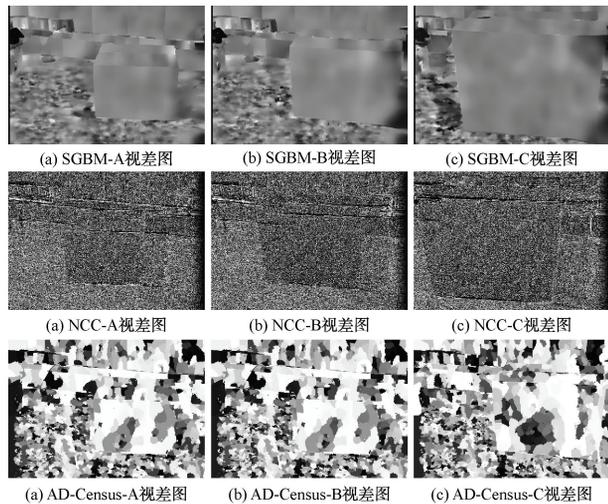


图 9 立体匹配视差图

由图 10 可知,校正图片经过半全局立体匹配 SGBM 立体匹配后的图像能够清晰看出纸箱轮廓信息,用时 1 s;采用积分图局部立体匹配算法 NCC,纸箱的轮廓信息能够基本显示,但是图片的空洞较多,用时 4 s;采用局部结合半

全局匹配算法 AD-Census,能够清晰得到纸箱的轮廓,但是用时达到 15 s。

综合分析 3 种处理算法对纸箱的测量,SGBM 立体匹配的处理速度能够满足现场的需求,其测量的最大误差为 17 mm,很显然,这个误差偏大,为了达到满足现场的实际需求,需要对 SGBM 立体匹配算法进行改进,提高测量精度。

4 基于自适应 GrabCut 的 SGBM 的算法改进

由于使用的 SGBM 立体匹配算法得到纸箱尺寸信息精度不高,根据实验结果可知其根本原因在于背景各种纹理的影响,对角点的选取会造成影响,从而导致测量误差较大。同时也考虑到现场纸箱处于滚筒上面,其背景滚筒对纸箱的测量也会产生类似的影响,所以本文采用自适应 Grabcut 的 SGBM 立体匹配改进算法对纸箱图片行立体匹配,提高测量的精度。Grabcut 算法是对 GraphCut 的改进,是交互式分割,需要用户通过方框框选出感兴趣区域,方框外的图像定义为背景,方框内的图像定义为前景。方框内的像素通过 k-means 算法聚类为 k 类,对 GMM 中 k 个模型进行初始化^[18]。计算矩形方框内的像素的 RGB 值,判断其像素属于何种高斯分量模型,计算公式如式(17)。

$$K_n : \operatorname{argmin}_{k_n} D(\alpha_n, k_n, \theta, z_n) \quad (17)$$

式中: $\theta = (\mu, \delta^2)$, μ 为平均值, δ^2 为方差值。

为了计算出选中的矩形框内的像素属于背景还是前景概率的负对数,其计算公式如式(18)。

$$D(\alpha_n, k_n, \theta, z_n) = -\log\pi(\alpha_n, k_n) + \frac{1}{2} \log \det \sum (\partial_n, k_n) + \frac{1}{2} [z_n - \mu(\alpha_n, k_n)]^T \sum (\alpha_n, k_n)^{-1} [z_n - \mu(\alpha_n, k_n)] \quad (18)$$

确定了像素属于前景和背景概率后,计算平滑项。通过定义了吉布斯能量函数,求解能量函数中的最小值对图像进行分割。

为了减少用户操作,采用模板匹配框选出目标图像。进行模板匹配时,模板在输入原始图像上不断滑动遍历所有像素,选取相似度最大的目标,确定其位置坐标完成匹配。模板图形在输入的图像的搜索范围为 $(W-w+1) \times (H-h+1)$ 。使用平方差匹配判断模板与输入图像的相似性,其计算公式如式(19)。

$$R(x, y) = \sum_{x', y'} (T(x', y') - I(x+x', y+y'))^2 \quad (19)$$

式中: $T(x', y')$ 为模板在该点的像素值, $I(x+x', y+y')$ 为输入图像在该点的像素值。完全匹配,得到结果为 0,否则为不完全匹配。

通过模板匹配后的结果如图 10 所示,将其结果作为 GrabCut 算法的交互式分割的信息,得到如图 11 所示效果图。



图 10 模板匹配



图 11 模板匹配+GrabCut

将进行处理的左右图像采取 SGBM 立体匹配,得到如图 12 视差图。



(a) SGBM 立体匹配视差图 (b) 自适应 GrabCut 的 SGBM 算法

图 12 视差图

5 纸箱尺寸测量及现场验证

将实验流程运用到现场,利用自适应 GrabCut 的 SGBM 算法,测量出纸箱的实际尺寸,以便于后续拆箱机械臂切割轨迹规划。其现场的布置如图 13 所示。



图 13 现场布置图

利用自适应模板匹配提取出纸箱轮廓,如图 14 所示,减少背景对纸箱立体的匹配的影响,并将其结果作为 GrabCut 算法的交互式分割的信息,得到如图 15 所示效果图。



图 14 模板匹配



图 15 模板匹配+GrabCut

没有改进的 SGBM 立体匹配得到的视差图如图 16 所示,视差图中背景对纸箱测量造成误差。因此根据自适应 Grabcut 处理后的左右视图进行立体匹配,得到现场的视差图,如图 17 所示。



图 16 SGBM 立体匹配视差图

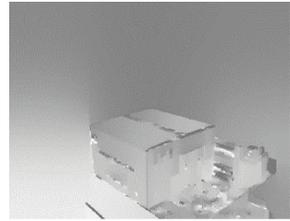


图 17 自适应 GrabCut 的 SGBM 算法

通过结合立体匹配得到的视差图,利用三角关系将选取纸箱轮廓四点的视差值转化为像素的深度信息。其计算公式如式(10)。

$$\begin{cases} X_c = \frac{B \times x_l}{D} \\ Y_c = \frac{B \times y_l}{D} \\ Z_c = \frac{B \times f}{D} \end{cases} \quad (20)$$

式中: Z_c 是测量的深度信息,其与两相机的基线 B 、相机的焦距 f 以及该点的视差值 D 有关; X_c 是测量的水平位置坐标,其与两相机的基线 B 、左视图的该点 x_l 水平位置以及该点的视差值 D 有关; Y_c 是测量的竖直位置坐标,其与两相机的基线 B 、左视图的该点 y_l 水平位置以及该点的视差值 D 有关;上述左右视图中同名点的水平位置 x_l 和 x_r 相差一个 D ,竖直方向的 y_l 和 y_r 的数值相等。

若有差距较大的数据则剔除改组数据并重新测量,减小偶然性或因视差图信息不全导致的错误信息,每个长度方向分别测量 5 次,并取其平均值,其结果如表 2。

表 2 双目测量结果

纸箱类型	尺寸方向	实际尺寸/mm	SGBM 立体匹配测量长度/mm	SGBM 绝对误差/mm	基于模板匹配和 GrabCut 算法改进 SGBM 算法	改进 SGBM 绝对误差/mm
A	L	580	590.41	10.41	584.56	4.56
	W	385	399.82	14.82	393.72	8.72
	H	480	492.64	12.62	486.43	6.43
B	L	475	487.21	13.12	481.76	6.76
	W	285	301.45	16.45	294.72	9.72
	H	380	394.62	14.62	388.76	8.79
C	L	385	399.45	14.45	393.26	8.26
	W	295	310.32	15.32	304.10	9.10
	H	290	305.89	15.89	299.24	9.24

由表 2 可知,对于 3 种纸箱测量使用 SGBM 算法测量的总体误差范围 10~17 mm,基于自适应 GrabCut 的 SGBM 算法,测量的总体误差在 4~10 mm,提高了测量的精度。

6 结 论

本文通过两个单目相机搭建起双目视觉系统,利用

Matlab 对双目系统进行标定,获取相机的内外参数、相机的畸变系数。利用获取的参数和 Opencv 对采集的纸箱图像进行去畸变。

利用 NLM 算法对采集的图片进行去噪,对去噪的图片进行立体校正,采用 NCC、SGBM、以及 AD-Census 进行立体处理。结合本文要求采取 SGBM 立体匹配算法,并提出基于自适应 GrabCut 的 SGBM 的改进算法测量出纸箱

的视差图,进而得到纸箱的尺寸信息。实验表明,总体误差在5~10 mm,该方法可以更加准确实现对纸箱尺寸测量,同时为后续纸箱进行自动化切割、搬运提供了参考依据。

参考文献

- [1] 王笛,胡辽林. 基于双目视觉的改进特征立体匹配方法[J]. 电子学报,2022,50(1):157-166.
- [2] 陈果,花国祥,俞斌,等. 基于双目视觉的带电作业机器人的目标识别与定位方法研究[J]. 国外电子测量技术,2023,42(6):139-146.
- [3] 蒋文萍,汪凌阳,韩文超,等. 基于改进 Census 变换的自适应局部立体匹配[J]. 电子测量技术,2022,45(13):82-87.
- [4] 郑如新,孙青云,肖国栋. 基于机器视觉的工件尺寸测量研究[J]. 电子测量技术,2021,44(16):110-115.
- [5] 郭明,侯伯杰,高建设,等. 基于双目视觉的零件位姿测量系统研究[J]. 机械设计与制造,2023,391(9):145-149.
- [6] 乔超,李帅康,洪荣晶,等. 基于 SGBM 算法的可转位刀片几何参数测量[J]. 工具技术,2023,57(9):162-165.
- [7] 马大智,于斌超,张彦泽,等. 基于双目视觉的大型高反光构件测量系统[J]. 应用光学,2021,42(4):577-585.
- [8] 冯曙明,包威,杨永成,等. 基于双目智能巡检机器人的电缆线缺陷检测以及直径测量[J]. 自动化与仪器仪表,2022(8):253-257.
- [9] 章宇熠. 基于双目立体视觉的月球车环境构建[D]. 北京:北京工业大学,2013.
- [10] ZHANG Z. A flexible new technique for camera calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis

and Machine Intelligence, 2000, 22(11): 1330-1334.

- [11] 杨琼,祝姗芸,冯义东. 基于全变差模型与卷积神经网络的模糊图像恢复[J]. 南京理工大学学报(自然科学版),2022,46(3):277-283.
- [12] 张业宏,陈恩平,么跃轩,等. 基于双边滤波与离散余弦变换的 NLM 去噪算法[J]. 燕山大学学报,2018,42(3):259-264.
- [13] 李亚静. 图像变分质量评价与分割方法研究[D]. 青岛:青岛大学,2021.
- [14] 刘博存,常思杰,林浩田,等. 一种纹理与结构光叠加的立体视觉改进算法[J]. 激光与红外,2022,52(5):776-784.
- [15] 赵成星,张晓玲,杨宇. 基于 SGBM 半全局立体匹配算法的三维重建[J]. 激光杂志,2021,42(4):139-143.
- [16] 李宝平,靳聪. 基于 AD-CESUS 联和测度的立体匹配算法[J]. 中国传媒大学学报(自然科学版),2016,23(6):46-51,28.
- [17] DO P N B, NGUYEN Q C. A review of stereophotogrammetry method for 3-D reconstruction in computer vision [C]. 2019 19th International Symposium on Communications and Information Technologies(ISCIT), IEEE, 2019: 138-143.
- [18] 王茜,何小海,吴晓红,等. 基于 GrabCut 的改进分割算法[J]. 信息技术与网络安全,2021,40(10):43-47,52.

作者简介

顾浩文,硕士研究生,主要研究方向为机器视觉。

E-mail:1819891394@qq.com

邹光明(通信作者),博士,教授,硕士生导师,主要研究方向为机器视觉、机器人。

E-mail:zouguangming@wust.edu.cn