

基于机器视觉的柱状标签拼接算法研究

张泽鲁^{1,2}, 许敏¹, 陈帅¹

(1.中国科学院 a.沈阳自动化研究所 b.机器人与智能制造创新研究院, 沈阳 110016;

2.中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: **目的** 针对标签检测中因单目相机视野受限无法获取标签全部有效信息的问题, 设计一种基于圆柱体拟合的柱状标签展开算法。**方法** 首先由相机标定得到的相机外参数拟合出标签圆柱体理想位姿, 并确定柱面标签展开图的高度。依据圆柱体在相机视野下的极限位置确定模糊隶属度函数, 筛选提取到的柱面标签边缘点。最后根据边缘点的世界坐标确定真实圆柱体的位置, 提取单目相机图像中的像素值并且为标签平面展开图中对应点赋值, 最终得到柱状标签的平面展开图。如果对拼接质量有着较高的要求, 可以采用NCC匹配算法对拼接图像进行调整, 以达到更好的效果。**结果** 该方法可以对多幅柱面标签图像实现快速拼接, 最终得到柱面标签的平面展开图, 半径30 mm的柱面标签图像拼接速度可达83.8 ms, 为标签质量在线检测奠定了基础。**结论** 该方法能够快速且精确地将柱状产品侧面标签平面展开。

关键词: 柱面标签; 模糊隶属度函数; 图像拼接

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)17-0221-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.17.031

Cylindrical Label Stitching Algorithm Based on Machine Vision

ZHANG Ze-lu^{1,2}, XU Min¹, CHEN Shuai¹

(1a. Shenyang Institute of Automation b. Research Institute for Robotics and Intelligent Manufacturing and Innovation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110169, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

ABSTRACT: The work aims to design a cylindrical label unwrapping algorithm based on cylinder fitting to solve the problem that the monocular camera can not obtain all the valid information of the label during detection due to limited field of view. Firstly, the ideal position of the cylindrical label was fitted from the external parameters of the camera obtained from the camera calibration, and the height of the cylindrical label unwrapping image was determined. The fuzzy membership function was determined according to the extreme position of the cylinder in the field of view of the camera, and the edge points of the extracted cylindrical label were filtered. Finally, the position of the cylindrical product was determined according to the world coordinates of the edge points. Pixel values were extracted from monocular camera image and assigned to corresponding points in the cylindrical label unwrapping image, and finally, the label unwrapping image was obtained. If there were high requirements on the quality of stitching, the NCC matching algorithm could be used to

收稿日期: 2020-01-10

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFB1306601); 辽宁省自然科学基金(20180520016, 20180520008)

作者简介: 张泽鲁(1996—), 男, 中国科学院大学硕士生, 主攻机器视觉。

通信作者: 许敏(1982—), 男, 博士, 副研究员, 主要研究方向为机器视觉和图像处理技术。

adjust the stitched image to achieve better results. This method could achieve the rapid stitching of multiple cylindrical label images and the label unwrapping image was obtained. The cylindrical label image of a radius of about 30 mm could be stitched at a speed of 110 ms, which laid the foundation for online detection of label quality. This method can quickly and accurately unwrap the side label of cylindrical product.

KEY WORDS: cylindrical label; fuzzy membership function; image stitching

标签信息是商品的重要组成部分,也是消费者选购商品的重要依据。食品行业广泛采用易于手握,在同等条件下具有更大容积的圆柱体作为容器,这虽然给产品生产及消费者生活带来便利,但在表面标签检测的过程中,由于柱面标签成像时边缘畸变严重,单目相机无法获取柱面标签的全部信息,给标签检测带来困难。针对生产企业对柱状标签检测的实际需求,传统的人工检测由于效率低、易疲劳且成本高的缺点已经无法适应工业生产的要求^[1-2],已经逐步淘汰。伴随着机器视觉的快速发展,基于视觉的标签质量检测已经得到了广泛的应用^[3-6]。

针对柱面标签质量检测困难的问题,国内外的研究机构及企业做了大量的研究。使用基于机器视觉的多个相机环绕被检测物体放置可以对无标签、高低标、标签倾斜或倒置等缺陷进行检测,但由于无法获得柱面标签的全景图像,因此检测效果受限。使用线扫描相机配合旋转机构虽然可以获得高质量的柱面展开图,但是由于检测速度慢,定心要求高,因此难以工业化应用。Chen 等^[7]使用单目相机拍摄由步进电机带动旋转的待检测圆柱体,可以获得圆柱体侧面的展开图。该检测方法对步进电机旋转中心与圆柱体中心同心度要求较高,且检测速度慢,仅适用于高附加值产品的小批量检测。Lin 等^[8]使用二值化图像的中心点确定圆柱体位置并建立圆柱体模型,最后使用 SIFT (Scale-invariant Feature Transform) 算法寻找特征点,最后通过特征点匹配算法构建柱面标签的平面展开图。该方法依赖于特征点检测算法,若标签表面纹理信息不明显,则难以满足图像拼接要求。Xu 等^[9]使用 4 个工业相机以 90° 夹角安装的方式采集饮料瓶标签的全表面图像,虽然取得了较好的效果,但其算法的执行速度仍可进一步提升。许会等^[10]使用柱面反投影算法对标签进行校正,再使用 SIFT 特征点检测算法拼接图像。标签经柱面反投影算法校正后由于插值算法边缘模糊严重,从而易导致特征点数目过少或误匹配,从而无法拼接标签图像。

针对柱面标签检测的实际需求,提出一种基于圆柱拟合的柱面标签展开算法,通过对多幅标签图像的拼接,实现柱面标签的平面展开,为下一步标签质量检测奠定基础。该算法基于柱状标签随机采集,并使用模糊隶属度函数筛选由边缘检测算法提取的边缘点,进而精准定位待检测圆柱体,且不依赖于特征点检测算法,拼接速度满足工业化生产的要求。

1 圆柱标签测量系统的结构与原理

1.1 实验系统的结构

整个实验系统见图 1,系统主要由 4 台工业相机、镜头、LED 光源及用于图像处理的工控机等组成。为了对柱面标签进行全方位的成像,4 台相机以 90° 为增量环绕柱面标签放置。当柱面标签位于相机视野中时,4 个相机采集图像,并将图像传送至工控机进行处理。

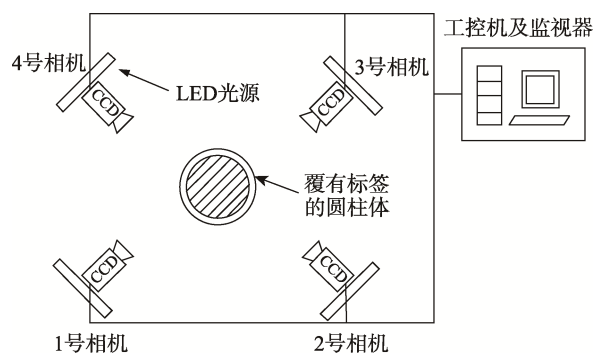


图 1 实验系统结构

Fig.1 Structure of experiment system

1.2 柱面标签展开算法

柱面标签平面展开算法的流程见图 2。4 个相机分别拍摄不同角度的柱面标签图像,提取各个相机下柱面标签的边缘,依据瓶身边缘之间的距离值引入模糊隶属度函数确定圆柱体的边缘,再通过算法拟合出圆柱体位姿,进而构建实际的圆柱体三维数学模型,将柱面标签表面三维点经相机透视成像模型与各相机的图像像素点对应并提取像素值,最终得到柱面标签平面展开图。该算法在提高运算速度的同时,解决了因柱面标签边缘畸变严重带来的柱面标签拼接困难问题,进而为下一步的标签质量检测提供依据。

2 圆柱标签平面展开流程

如图 3 所示,柱面标签圆柱体由相机成像后,在相机视野下的标签边缘为直线。为提高计算速度,仅在柱面标签两端选择部分区域使用一阶微分边缘检测算法^[11]提取柱面标签的边缘。若直接使用边缘检测

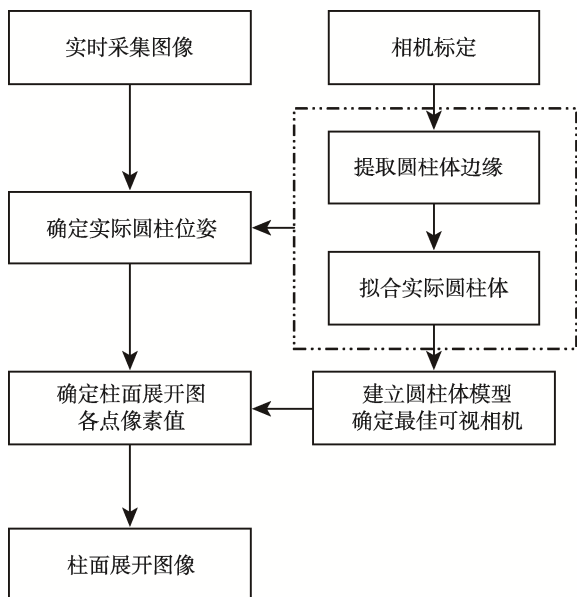


图 2 柱面标签拼接算法流程

Fig.2 Work flow of the cylindrical label stitching algorithm

算法会提取到较多的柱状标签内部的边缘,且由于光照的不均匀性等因素所造成的边缘无法明确分割的情况,使用模糊隶属度函数对上下边缘间的距离进行限制,对所提取的边缘筛选,进而促进柱面标签边缘线的精准提取^[12]。

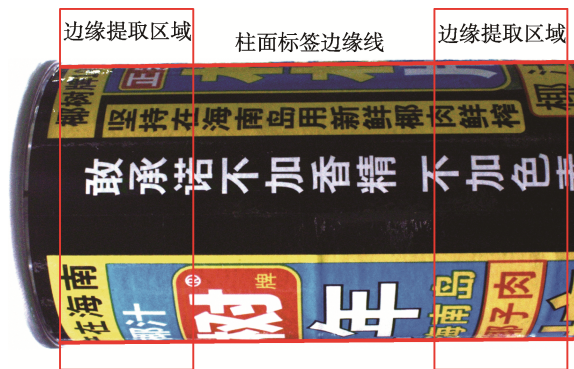


图 3 边缘提取区域

Fig.3 Region of edge extraction

2.1 确定理想圆柱体位姿

实验所使用的 4 个相机均通过张正友标定算

法^[13]获得每个相机的内参数及外参数。其中内参数由焦距 f_x, f_y , 畸变系数及主点坐标 (u_0, v_0) 等组成, 构建了从相机的像素坐标到相机坐标系下的映射关系。外参数矩阵由旋转矩阵 $\mathbf{R}$ 、平移矩阵 $\mathbf{T}$ 构成, 建立了各个相机之间的相对位置关系。

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

由相机透视投影模型可知, 距离相机距离越远, 圆柱体边缘之间的距离越小。相反, 边缘之间的距离越大。因此以边缘之间的距离作为标准, 构建模糊隶属度函数对提取的边缘点进行筛选。

如图 4 所示, 4 个相机是环绕柱面标签放置, 在 1 号相机视野下, 若 $D_{\min}$, 即边缘之间的距离过小, 则对面 3 号相机中 $D_{\max}$, 即边缘之间的距离的最大值必然过大, 甚至超出相机视野, 导致该相机无法提取完整的柱面标签表面像素点, 因此需要确定每个相机下最优的 $D_{\max}$ 与 $D_{\min}$ 值, 选择边缘点之间的距离位于此区间内的边缘点作为最终柱面标签的边缘点。

由于存在相机安装误差, 所以 4 个相机并不处于同一平面。为确定 $D_{\max}$ 与 $D_{\min}$ 的具体值, 需要根据 4 个相机的空间点的位置, 确定理想圆柱体的位姿, 即假设理想圆柱体位于 4 个相机的重心, 拟合出一个理想圆柱体所在的平面, 使该平面位于距离 4 个相机的空间点的距离最小。该平面的法向量即为理想圆柱体的 z 轴, 定义 1 号相机到重心的连线为 x 轴, y 轴向量则可由 x 轴与 z 轴使用向量间的叉乘运算得到。相机坐标系及理想圆柱体坐标系的坐标轴方向见图 5, 各相机 z 轴方向均指向理想圆柱体, x 轴方向垂直于 z 轴向上。

设 $\cos \alpha, \cos \beta, \cos \gamma$ 为此平面法向量的方向余弦, 则该平面方程为 $\gamma \cos \alpha \cdot x + \cos \beta \cdot y + \cos \gamma \cdot z + \rho = 0$ 。该平面需要满足所有相机焦点到该平面的距离最短, 由点到平面的距离公式 $d = \frac{|Ax + By + Cz + D|}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}$ 可得相机 i 到该平面的距离, 即:

$$d_i = |\cos \alpha \cdot x_{wi} + \cos \beta \cdot y_{wi} + \cos \gamma \cdot z_{wi} - d| \quad (2)$$



a



b

图 4 边缘间的极限距离

Fig.4 Extreme distance between edges

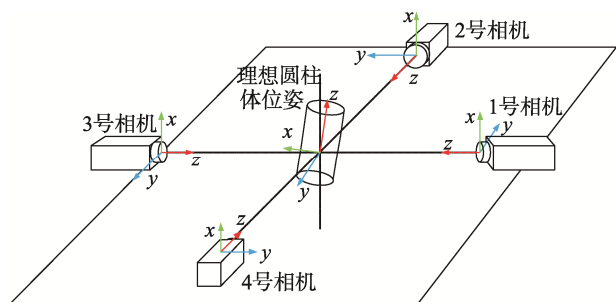


图5 理想圆柱体坐标系
Fig.5 Coordinate system of ideal cylinder

式中: x_{wi} , y_{wi} , z_{wi} 为由相机外参数标定得到的相机位置, $i=1,2,3,4$, 代表相机的编号。求解最优平面的问题转换为在 $\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1$ 的条件下使得方程(3)取得最小值。

$$f = \sum_{i=1}^4 d_i^2 - \lambda(\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma - 1) \quad (3)$$

联立式(2—3)求解方程的最小值即可得到最优平面的法向量 $\mathbf{Z}$, 理想圆柱体坐标系的位姿即可确定。在图像中人为设定包含有待展开标签信息的区域, 经相机透视投影模型变换即可求得圆柱体坐标系下的标签的高度 $Z_{\max}$ 与 $Z_{\min}$ 。

2.2 确定模糊隶属度函数并提取边缘

如图6所示, 由 $Z_{\min}$, $Z_{\max}$ 及相机焦点在理想圆柱体系上的投影点 P 处作为采样点, 确定每个相机下最优的 $D_{\max}$ 与 $D_{\min}$ 值。在 $Z_{\max}$ 处:

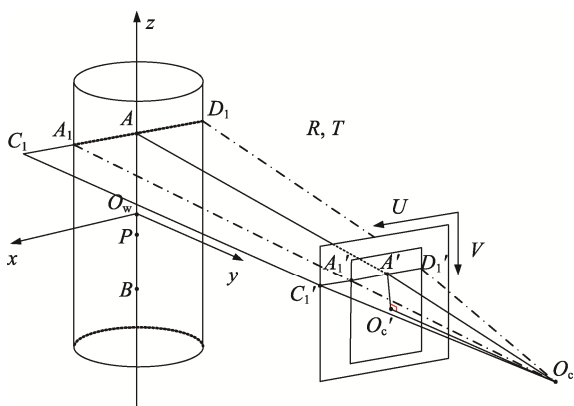


图6 相机透视投影模型
Fig.6 Perspective projection model of camera

O_c 为相机的焦点, O'_c 点为焦点在像平面的投影点, $|O_c O'_c|$ 为焦距。柱面标签展开图像 z 轴方向上的最大值 $A(0,0,Z_{\max})$ 点在像平面上的投影点坐标为 A' , A'_1 点为圆柱边缘点 A_1 点在像平面的投影, $|AA_1|$ 为圆柱体的半径 R 。

由图6可知, $\triangle O_1 A' A'_1$ 与 $\triangle O_1 A A_1$ 构成相似三角形, 根据相似关系可得:

$$\frac{|O_c A'|}{|O_c A|} = \frac{|A' C'_1|}{|A' C_1|} \quad (4)$$

向量 $\overrightarrow{O_1 A'}$ 垂直于像平面, 因此 $|O_1 A'|^2 = |O_1 O'_1|^2 + |A' O'_1|^2$; O_1 点为相机的焦点, 因此 $|O_1 A|$ 为 $A(0,0,Z_{\max})$ 到 O_1 点的距离, 可由空间中2点之间的距离公式求出; $|A' C'_1|$ 为 A' 到图像底部边缘的距离。

令 $\alpha = |AC_1| - R$, α 即为圆柱体处于理想位置时, 保证圆柱体处于相机视野下 x 轴正方向上最大的偏移量。同理可求得圆柱体在相机视野下 x 轴负方向上最大的偏移量 β , 取 α , β 的最大值即为圆柱体可容许的最大的偏移量 λ 。在 $\min Z$ 及点 P 处同样进行求解, 选择最大的 λ 作为该相机下的最大偏移量。

如图7所示, 依据该相机下的最大偏移量 λ 可以定义柱面标签上下边缘间距离变化范围的最大值, 相似三角形可知, 在 $D_{\max}$ 处:

$$\frac{|O_c A'|}{|O_c A_2| - \lambda} = \frac{D_{\max}}{2 \cdot R} \quad (2)$$

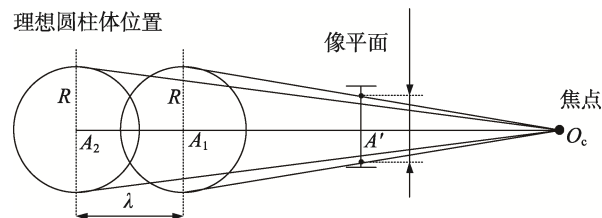


图7 极限距离计算
Fig.7 Calculation of extreme distance

$|O_1 A'_1|$ 为相机焦点到投影点的距离, $|O_1 A_2|$ 为焦点到实际三维点的距离, λ 为圆柱体在该相机下的最大偏移量, 最终求得圆柱体边缘间的最大距离为 $D_{\max}$ 。

同理在相反方向上移动最大偏移量 λ , 可得在 $D_{\min}$ 处:

$$\frac{|O_c A'_1|}{|O_c A_2| + \lambda} = \frac{D_{\min}}{2 \cdot R} \quad (6)$$

由式(6)可求得圆柱体边缘对的最小距离为 $D_{\min}$ 。 $D_{\max}$ 与 $D_{\min}$ 即定义了标签边缘点距离的变化范围。根据 $D_{\max}$ 与 $D_{\min}$ 定义的模糊隶属度函数见式(7), 分段函数图像见图8。

$$f(x) = \begin{cases} 0 & [0, D_{\min} - 10) \\ \frac{x - D_{\min}}{10} + 1 & [D_{\min} - 10, D_{\min}) \\ 1 & [D_{\min}, D_{\max}) \\ \frac{D_{\max} - x}{10} + 1 & [D_{\max}, D_{\max} + 10) \\ 0 & [D_{\max} + 10, +\infty) \end{cases} \quad (7)$$

使用模糊隶属度函数对提取到的边缘点进行筛选, 选择 $f(x)$ 最大的边缘点, 即边缘点间距离处于 $D_{\min}$ 与 $D_{\max}$ 之间的边缘对作为柱面标签的边缘, 边缘的提取结果见图9。这种提取方法能够准确地提取柱面标签的边缘, 且对圆柱体位置变化具有鲁棒性。

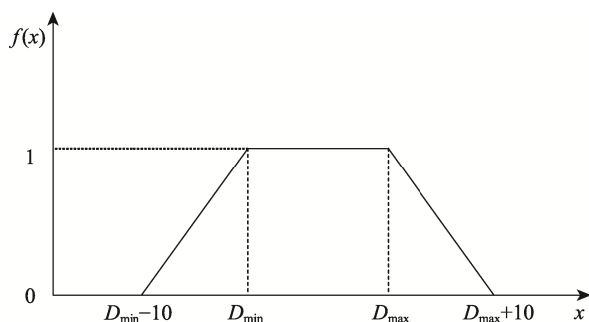


图 8 模糊隶属度函数
Fig.8 Fuzzy membership function



图 9 边缘提取结果
Fig.9 Result of edge extraction

2.3 拟合实际圆柱体

基于模糊隶属度函数所求得的边缘点坐标均为各相机像素坐标系下的坐标,使用式(1)将像素坐标系下的点变换到圆柱体坐标系,得到边缘点的世界坐标 $P_i(X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij})$, $i \in 1, 2, 3, \dots, n$, 为边缘点序号; $j \in 1, 2, 3, 4$, 为相机编号。

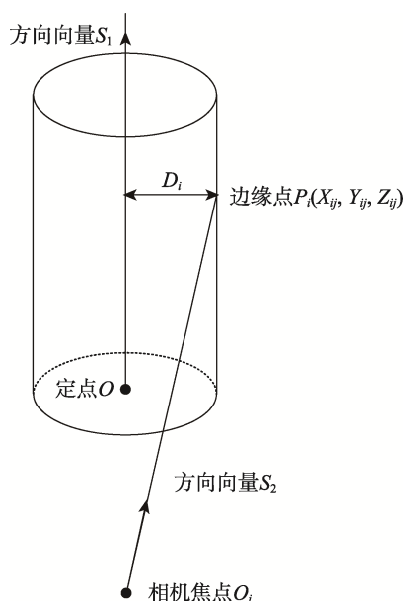


图 10 圆柱体中心轴
Fig.10 Central axis of cylinder

由于实际圆柱体的位置往往偏离理想圆柱体的位姿,为确定实际圆柱体的位姿,需要根据圆柱体边

缘点求解实际圆柱体的 z 轴。如图 10 所示,相机焦点的在理想圆柱体坐标系下的坐标为 O_i , P_i 为圆柱体的边缘点。依据边缘点到实际中心轴的距离应为半径,拟合出一条最优 z 轴,使该最优 z 轴到各边缘点的距离与半径的差值最小。现假设最优 z 轴上一定点为 O , 方向向量为 S_1 。根据空间中两异面直线之间的距离公式,得到直线 OP_i 到直线 OS_1 的距离为:

$$D_i = \frac{|(\vec{S}_1 \times \vec{S}_2) \cdot \vec{OO}_i|}{|\vec{S}_1 \times \vec{S}_2|} \quad (8)$$

式中: S_1, S_2 为直线的方向向量; 向量 $\vec{OO}_i$ 为定点 O 与相机焦点所组成的向量。

依据最小二乘法,设误差函数为:

$$E = \sum_{i=1}^n (D_i - R)^2 \quad (9)$$

式中: $i \in 1, 2, 3, \dots, n$, 为边缘点序号; R 为圆柱体半径。

求解使误差函数 E 最小所对应的最优直线 OS_1 , 将该直线作为实际圆柱体坐标系的 z 轴, 结合测量得到的圆柱体半径, 建立标签圆柱体的三维数学模型并确定圆柱体表面各像素点的最佳可视相机^[9]。通过式(1)将圆柱体表面 3D 坐标点变换到对应相机的像素坐标系下, 确定各点的像素值并为标签平面展开图对应点赋值, 得到柱面标签平面展开图。

3 实验研究

实验系统见图 11, 主要由映美精工业相机 DFK23G445, 焦距 8 mm 的镜头, LED 光源, IPC (CPU: Intel 2.5 GHz), 千兆网卡及监视器组成。实验所使用的 4 个相机均使用张正友标定算法进行标定, 以确定相邻相机之间的位置关系。4 个相机分别从不同角度对柱面标签进行成像。为突出圆柱体的轮廓边缘, 使用面阵光源采用平行背光的方式照明, 并采用条形光源补光, 在校正图像畸变后应用柱面标签展开算法, 对柱面标签进行平面展开。

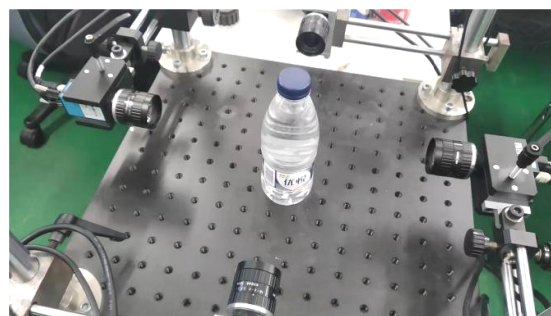


图 11 实验系统结构
Fig.11 Structure of experiment system

实验平台所采集的 2 组具有不同表面纹理特征 的实验样本图像见图 12, 使用文中算法对柱面标签展开所得的实验结果见图 13。



图 12 实验样本图片
Fig.12 Pictures of experiment samples



图 13 实验结果
Fig.13 Experiment results



图 14 NCC 匹配后结果
Fig.14 Matching result of NCC

使用文中的算法可以将由 4 个相机获取的柱面标签图平面展开, 获得一张连续且无畸变的柱面标签平面展开图。在图 13a 中由于标签图案的具有多样性, 其表面纹理特征也各有不同, 导致标签表面会发生不同程度的反光, 因此在图像接合处存在缝隙, 但仍获得了较高质量的柱面标签展开图。如果对拼接质量有更高的要求, 可以使用 NCC 模板匹配^[14—15]的方法对拼接接缝区域进行微调并进行图像融合, 消除图像拼接缝隙, 使图像拼接更加自然。经 NCC 算法调整后的实验结果见图 14, 方框包围的区域内图像拼接缝隙已经明显消除且过渡自然。同时使用 NCC 算法优化可以抵消因 4 个相机获取图像时不同步所导致的图像拼接缝隙。使用柱面反投影算法对标签进行校正的实验结果见图 15a, 但由于柱面标签边缘畸变严重, 校正后的图像边缘十分模糊, 难以使用 SIFT 特征点检测算法寻找特征点。



图 15 文献[9]及柱面反投影算法结果
Fig.15 Reference[9] and cylinder back projection algorithm results

为保证实验条件的统一, 采用静态采集的图像作为输入, 应用柱面标签展开算法, 改变柱面标签的朝向并进行多次实验, 记录算法的执行时间, 结果见表 1, 柱面展开图的分辨率与圆柱体的半径都会对标签图像展开的速度产生影响。在使用 NCC 匹配后虽然可以获得较高质量的柱面标签图, 但会使程序执行时间延长。由于拼接图像过程中会对图像进行平移旋转等操作, 因此经过 NCC 算法优化后的图像分辨率会有所变化。基于同样的实验环境输入相同的柱面标签图像见图 15b, 应用文献[9]中的算法对柱面标签进行平面展开的结果。如表 1 中标签样本 1 所示, 对比算法的执行时间, 在拼接质量、图像分辨率无明显改变的情况下, 文中的算法使用 83 ms 即可获得柱面标签的平面展开图, 可显著提高柱面标签的展开效率, 在使用 NCC 匹配算法优化柱面展开图后, 运行时间仍优于现有算法。

表 1 柱面标签展开算法结果			
Tab.1 Result of cylindrical label unwrapping algorithm			
标签样本	分辨率	半径/mm	平均时间/ms
1	943×164	30	83.8
1 (NCC)	950×164	30	141.2
文献[9]算法	952×187	30	214
2	926×378	26.5	157.1
2 (NCC)	924×378	26.5	320
文献[9]算法	831×372	26.5	396

4 结语

文中设计了一种基于柱状标签随机采集的柱面标签平面展开算法。该方法通过 4 个单目相机获取的柱面标签图像, 使用模糊隶属度函数筛选柱面标签的边缘, 并基于边缘确定实际圆柱体的位姿, 通过相机透视投影模型获取像素值并最终生成柱面标签的平面展开图。经实验验证, 该算法能够快速准确地获得柱面标签的平面展开图, 其算法执行速度满足实际的生产要求, 为下一步标签质量检测奠定基础。

参考文献:

[1] SONG L M, WANG P Q, CHANG Y L, et al. A Non-contact Real-time Measurement of Lamp Dimension Based on Machine Vision[J]. Optoelectronics Letters, 2015, 11(2): 145—148.

[2] 李姿景. 基于机器视觉的药品包装生产线自动检测系统[J]. 包装工程, 2018, 39(17): 165—169.

LI Zi-jing. Automatic Detection System for Drug Packaging Line Based on Machine Vision[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(17): 165—169.

[3] 汤勃, 孔建益, 伍世虔. 机器视觉表面缺陷检测综述[J]. 中国图象图形学报, 2017, 22(12): 1640—1663.

TANG Bo, KONG Jian-yi, WU Shi-qian. Review of Surface Defect Detection Based on Machine Vision[J]. Journal of Image and Graphics, 2017, 22(12): 1640—1663.

[4] 罗时光. 基于机器视觉的玻璃瓶口缺陷检测方法[J]. 包装工程, 2018, 39(3): 183—187.

LUO Shi-guang. Glass-bottle Defect Detection Method Based on Machine Vision[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(3): 183—187.

[5] 倪鹤鹏, 刘亚男, 张承瑞, 等. 基于机器视觉的 Delta 机器人分拣系统算法[J]. 机器人, 2016, 38(1): 49—55.

NI He-peng, LIU Ya-nan, ZHANG Cheng-rui, et al. Sorting System Algorithms Based on Machine Vision for Delta Robot[J]. Robot, 2016, 38(1): 49—55.

[6] 杨海明, 苟岩岩. 饮料瓶标签 360°全方位检测系统

- 研究[J]. 包装与食品机械, 2017, 35(3): 41—45.
- YANG Hai-ming, Gou Yan-yan. Research on 360° Overall Detection System for Container Label[J]. Packaging and Food Machinery, 2017, 35(3): 41—45.
- [7] CHEN S H. Fast Defect Inspection of High-resolution and Textured Cylindrical Lens Holder Surface Using Randomized SVD[J]. Nondestructive Testing and Evaluation, 2017, 32(1): 59—78.
- [8] LIN J, LIAO Q, HE B, et al. Label Inspection of Approximate Cylinder Based on Adverse Cylinder Panorama[C]// 2013 International Conference on Optical Instruments and Technology, Beijing, 2013.
- [9] XU J, CHEN C, XIE H, et al. Cylindrical Product Label Image Stitching Method[C]// 2017 2nd IEEE International Conference on Computational Intelligence and Applications (ICCIA), 2017: 331—335.
- [10] 许会, 刘慧芳, 陆昊, 等. 一种曲面药瓶标签校验方法关键技术[J]. 沈阳工业大学学报, 2019, 41(3): 286—291.
- XU Hui, LIU Hui-fang, LU Hao, et al. Key Technology of Checking Method for Curved Surface Label of Machine Bottle[J]. Journal of Shenyang University of Technology, 2019, 41(3): 286—291.
- [11] 朱先锋, 潘洪军. 基于 Halcon 的硒鼓缺陷检测与一维尺寸测量[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2014, 32(3): 308—315.
- ZHU Xian-feng, PAN Hong-jun. Defect Detection and One-Dimensional Size Measurement of Toner Cartridge Based on Halcon[J]. Journal of Jilin University(Information Science Edition), 2014, 32(3): 308—315.
- [12] 李林娜. 基于机器视觉的在线高精度零件测量关键技术的方法研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2015: 44—49.
- LI Lin-na. Research Methods of Key Technologies for Online High-precision Machine Vision Based Measurement[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2015: 44—49.
- [13] ZHANG Z Y. A Flexible New Technique for Camera Calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(11): 1330—1334.
- [14] 刘桂雄, 蔡柳依婷, 王博帝. 机器视觉检测图像拼接配准技术研究进展[J]. 激光杂志, 2019, 40(11): 1—6.
- LIU Gui-xiong, CAI Liu-yi-ting, WANG Bo-di. Overview of Image Stitching Registration in Machine Vision Detection[J]. Laser Journal, 2019, 40(11): 1—6.
- [15] 刘正琼, 万鹏, 凌琳, 等. 基于机器视觉的超视场工件识别抓取系统[J]. 机器人, 2018, 40(3): 294—300.
- LIU Zheng-qiong, WAN Peng, LING Lin, et al. Recognition and Grabbing System for Workpieces Exceeding the Visual Field Based on Machine Vision[J]. Robot, 2018, 40(3): 294—300.