

动态无接触的货车尺寸测量方法

孔月萍*, 赵天悦, 王佳婧

西安建筑科技大学信息与控制工程学院, 陕西 西安 710055

摘要 受相机视域限制, 基于机器视觉的货车外廓测量不能一次性获取完整的车身图像。因此, 在传统机器视觉测量的基础上引入图像拼接技术, 设计了一种动态无接触货车尺寸测量方法, 可在不停车、无接触的情况下对序列货车图像进行特征提取、图像配准与融合、外廓尺寸测算。仿真结果表明, 本方法的平均测量误差为 0.83%~1.87%, 满足 GB21861-2014 的要求。

关键词 机器视觉; 外廓尺寸测量; 特征提取; 图像拼接; 图像融合

中图分类号 TP391

文献标志码 A

doi: 10.3788/LOP57.211204

Dynamic Non-Contact Measurement Method of Truck Size

Kong Yueping*, Zhao Tianyue, Wang Jiajing

College of Information and Control Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology,
Xi'an, Shaanxi 710055, China

Abstract Limited by the camera's field of view, the truck contour dimension measurement based on machine vision cannot obtain a complete body image at one time. Therefore, image stitching technology is introduced on the basis of traditional machine vision measurement, and a dynamic non-contact measurement method of truck size is designed, which can be used for feature extraction, image registration and fusion, and external contour dimension measurement of sequence truck images without stopping and contacting. Simulation results show that the average measurement error of this method is 0.83%–1.87%, which meets the requirement of GB21861-2014.

Key words machine vision; contour dimension measuring; feature extraction; image stitching; image fusion

OCIS codes 150.1135; 100.2000; 120.6650

1 引言

货车载货的长度、宽度、高度和重量超过国家标准规定会引发交通事故、损坏道路设施、危害人身与财产安全。目前的公路货车超限检测站主要关注货车载重, 对货车的外廓尺寸测量还处于技术不完备阶段^[1]。传统人工测量超长货车尺寸时误差大、效率低^[2]; 红外检测技术可将红外探测器与埋置在车道地面下的感应线圈相结合, 通过分析电感参数变化获得车辆尺寸。这种方法虽简单易用, 但易受车辆停靠位置的影响, 准确率较低, 只能大致估计车辆尺寸, 在车辆过长或超出测量区域时, 无法工作, 不能满足测量标准的需求^[3]; 平面激光测量技术结构

简单, 仅需几组以基准线扩展方式安装的激光光幕即可快速、准确测得车辆的外廓尺寸。但在测量车辆宽度时需将光幕嵌入路面, 测量大型车辆的长度时, 需要在行车道两侧安装多组光幕, 成本较大, 且在雨雪、风沙等极端天气下, 车辆轮胎携带的污渍会干扰光幕信号的传输, 导致误差较大。德国 Sick 公司利用二维激光检测技术研制了车辆尺寸测量系统, 该系统基于激光测速原理, 以不间断扫描车身的方式实现车辆外廓测量^[4], 虽然该技术测量时无需接触车身, 也可一次性测得超长车辆的尺寸, 但只在被测车辆表面光洁, 且反射率大于 10% 时才能获得准确的数据。而实际测量时多在户外, 雾天、雨雪天气及车身表面的泥污、粗糙程度都会对测量结果产

收稿日期: 2020-02-06; 修回日期: 2020-02-28; 录用日期: 2020-03-20

基金项目: 陕西省自然科学基金基础研究计划(2019JM-183)、西安市碑林区科技计划(GX1806)

* E-mail: annie_kyp@sina.com

生较大影响,其次,整个测量系统依赖于高精度激光传感设备^[5],成本较高且不易维护。

与上述技术相比,机器视觉测量技术仅需两台 CCD 相机对行驶中的车辆进行抓拍,通过相机标定获取的内外参数及畸变系数,就可由成像关系重建出被测车辆的三维模型,进而获得车辆真实的长、宽、高^[6-7]。该技术具有结构简单、安装方便、抗干扰能力强、造价较低等特点,但算法复杂度较高,且在实际测量中,货车车身比普通轿车车身更长,相机视域受限,难以一次性获取完整的货车图像、存在检测盲区。

针对公路 ETC 中大型货车动态无接触测量车身尺寸的需求,同时考虑到测量系统的制造成本,提出了一种机器视觉与激光技术相结合的测量方法。该方法将视频特征提取、图像配准与融合等技术相结合,对运动中的序列货车图像进行抓取和处理,在保证实时性与精确性的同时,解决了货车尺寸的动态无接触测量难题。一方面,在行车道两侧安装一组光幕,当待测货车行驶至测量通道时,利用激光光幕测量货车高度,以降低机器视觉算法的复杂度,提高测量系统的实时性;另一方面,直接利用机器视觉测量车辆宽度^[8],同时引入图像拼接技术测量货车的长度。

2 动态无接触货车尺寸测量方法

为了对不同类型货车的外廓尺寸进行动态测量,构造了机器视觉与激光光幕相结合的测量系统,结构如图 1 所示。一方面,在行车道两侧安装一组光幕,用于测量通过车辆的高度;另一方面,在行车道上设置龙门架,在其横梁上架设两台 CCD 相机,以获取的货车视频为基础,建立机器视觉下的车辆长度、宽度测量模型^[8]。首先,对双目 CCD 相机获

得的序列货车图像进行特征提取、图像拼接与融合。然后,重建全景车身图像,并从全景车身图像中提取目标货车。最后,通过相机标定技术^[9-10]建立视觉测量模型,将图像坐标系转化为世界坐标系,结合相机内外参数与畸变系数将图像中货车的像素尺寸换算成货车的实际尺寸。

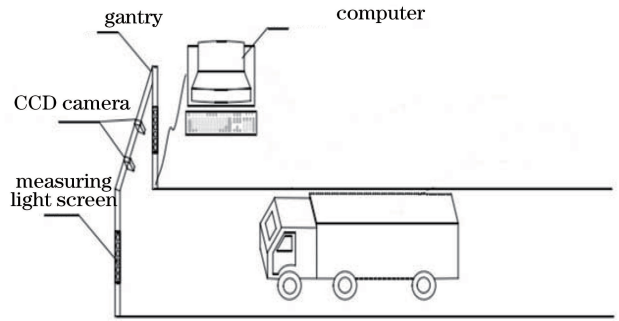


图 1 运动货车外廓尺寸的测量系统

Fig. 1 Measuring system for the contour dimension of moving truck

货车测量技术常用于高速公路入口、超限检测站等对实时性、准确性要求较高的场景中。考虑到实际应用需求,采用准确率高和实时性好的 ORB (Oriented FAST and rotated BRIEF) 算法提取货车图像的特征点^[11],采用计算便捷的汉明距离法^[12]对序列货车图像进行特征点匹配。考虑到测量场景下户外天气的不确定性,首先,采用随机抽样一致性(RANSAC)算法^[13]去除序列货车图像粗匹配中的错误匹配点对;然后,借助图像融合技术^[14-15]对拼接后的货车图像进行平滑过渡,以消除外界环境因素造成的拼接图像接缝处灰度不均匀、拼接痕迹明显的问题,获得良好的全景货车图像;最后,结合标定的相机参数、畸变系数计算货车的实际外廓长度和宽度。完整的序列货车图像拼接算法流程如图 2 所示。

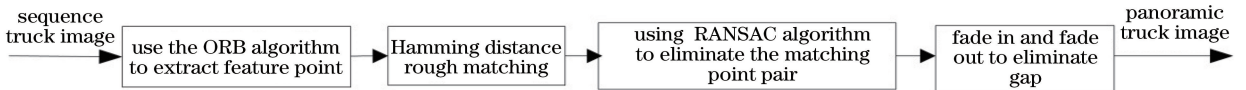


图 2 序列货车图像的拼接算法流程

Fig. 2 Flowchart of stitching algorithm for sequence truck image

ORB 算法以准确率高、处理速度快的 FAST (Features from accelerated segment test) 算子^[16]检测待测量对象的特征,利用 BRIEF (Binary robust independent elementary features) 算子^[17]计算特征描述子,构成货车的特征集合。BRIEF 描述子为二进制串,不仅可以节省特征存储空间,还能大大缩短后期的特征匹配时间。图 3 为相机抓拍到的两幅货

车图像,图中的白色小圆点为采用 ORB 算法检测到的货车特征点。

为了将图像 A 和图像 B 拼接成一幅拥有完整车身的图像,需对 ORB 算法处理后的两幅图像建立配准对应关系,即寻找图像间的相似性匹配点集、剔除错误匹配点对。相似性匹配的本质是通过计算图像 A 和图像 B 描述子之间的相似性确定两幅图

像中的可配准特征点,当一对描述子间的特征距离最小时,可认为这两个描述子及相应像素之间存在配准关系。常用的相似性度量方法有欧氏距离法^[18]、Hausdorff 距离法^[19]和汉明距离法,由于

BRIEF 描述子为二进制字符串形式,因此选用汉明距离法对二进制字符串进行异或与累加操作,以快速完成货车图像的粗匹配,满足实时检测的要求。图 4 为汉明距离法完成的货车图像粗匹配结果。

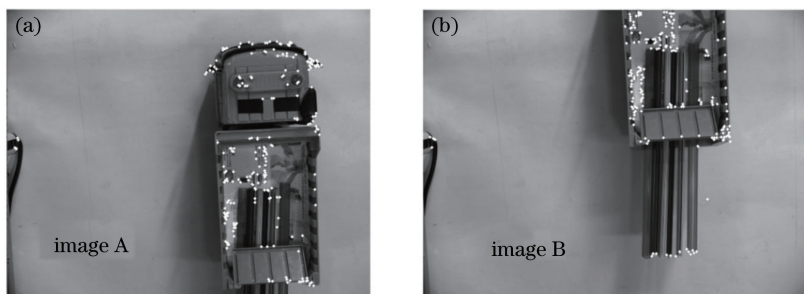


图 3 ORB 算法提取的货车特征点。(a)图像 A;(b)图像 B

Fig. 3 Feature points of trucks extracted by ORB algorithm. (a) Image A, (b) image B

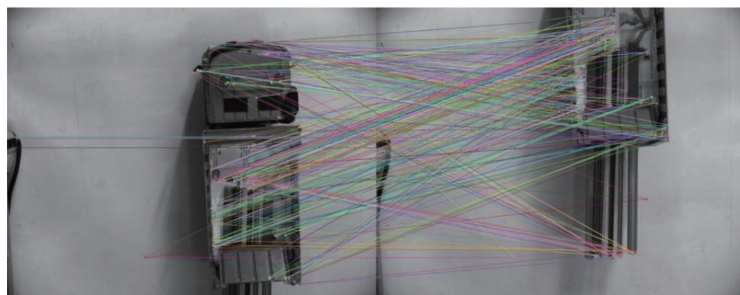


图 4 汉明距离法得到的粗匹配结果

Fig. 4 Rough matching result obtained by the Hamming distance method

粗匹配后的货车图像可能存在误匹配点,因此,需要进行错误检查和纠正。实验利用 RANSAC 算法^[20]从货车图像中迭代选择特征点中的一组随机子集,生成包含局内点最多的特征点集,获得最佳的

局内点分布情况,以剔除局外误匹配点,满足货车图像特征提取的稳健性和精确性要求。图 5 为 RANSAC 算法对粗匹配图像进行误匹配剔除后的特征配准点对。

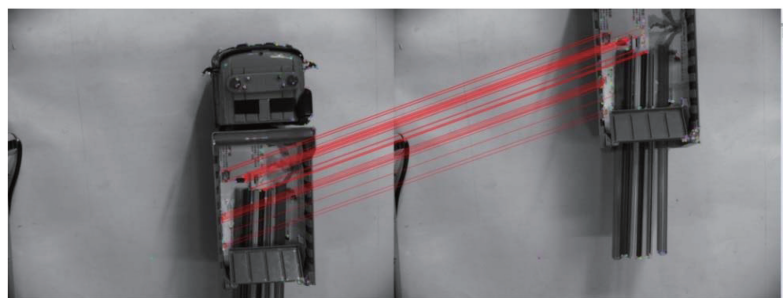


图 5 RANSAC 算法得到的配准结果

Fig. 5 Registration result obtained by the RANSAC algorithm

为得到无缝、平滑的高质量图像、减小拼接痕迹对货车尺寸测算结果的影响,设计了多组配准后图像的融合操作。考虑到 ETC 应用场景中的实时性要求,选择时效性好的渐入渐出加权融合法^[21]进行处理。图像 A 和图像 B 的重叠区域如图 6 所示。

图像重叠区域像素的渐入渐出融合可表示为

$$I(i, j) = (1 - \omega) * I_1(i, j) + \omega * I_2(i, j), (1)$$

式中, $\omega \in [0, 1]$ 为权值,由图像 A 和图像 B 中像素点落在重叠区域的比例决定, $I_1(i, j)$ 、 $I_2(i, j)$ 分别为图像 A 和 B 的重叠部分, $I(i, j)$ 为重叠融合后的图像。可取 $\omega = p/w$, 其中, p 为图像重叠区域对应的像素列数, w 为重叠区域的总列数。

综上所述,完整的货车图像渐入渐出融合函数可表示为

$$I(i, j) = \begin{cases} I_1(i, j), & (i, j) \in A \\ (1 - \omega) * I_1(i, j) + \omega * I_2(i, j), & (i, j) \in A \cap B, \\ I_2(i, j), & (i, j) \in B \end{cases} \quad (2)$$

式中, A, B 分别为图像 A, B 中的区域。通过(2)式融合图 6 得到的全景货车图像如图 7 所示。

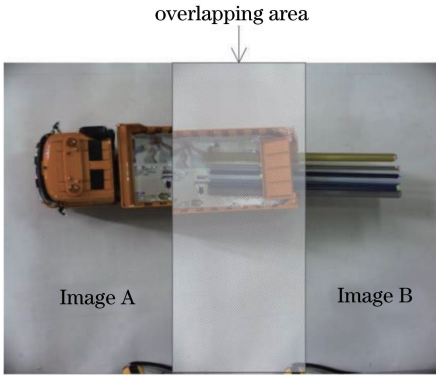


图 6 重叠区域示意图

Fig. 6 Schematic diagram of overlapping area

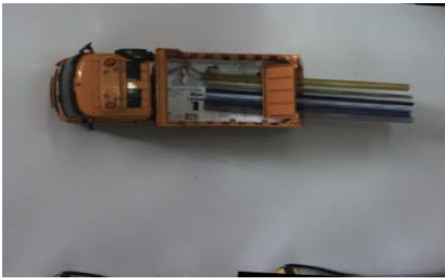


图 7 融合后的全景货车图像

Fig. 7 Panoramic truck image after fusion

3 实验与分析

GB21861-2014《机动车安全技术检验项目和方法》中对车辆安全技术检验方法的要求:测量误差小于实际尺寸的 2%时可认为该技术在货车外廓尺寸测量中合格。为验证本方法在无接触、运动车辆外廓尺寸测量方面的有效性,选择与真实卡车长度比例为 1:25 的模型车辆搭建模拟测量对象、测试车道,分别在不同光照场景、不同行驶速度下进行了货车长度的机器视觉测量实验。图 8(a)是长度为 360 mm 的实验模型车 A,用其模拟实际长度为 9 m 的货车,对比值标记为 360/9000;图 8(b)是长度为 480 mm 的实验模型车 B,用其模拟实际长度为 12 m 的货车,对比值标记为 480/12000。分别用强度为 50、300、800 lx 的光照模拟夜晚、阴天、晴天三种场景。

交通管理部门规定,货车在公路 ETC 车道上的行驶速度不能超过 20 km/h。因此,先在光照强度为 800 lx 的场景下进行机器视觉测量,测量时模型车的速度设定为 0.15、0.30 m/s,可分别模拟实际货车以 10、20 km/h 的速度行驶。为了对比,给出模型车的真实长度进行误差测算,结果如表 1 所示。可以发现,两种速度下,本方法对模型车 A 的测量

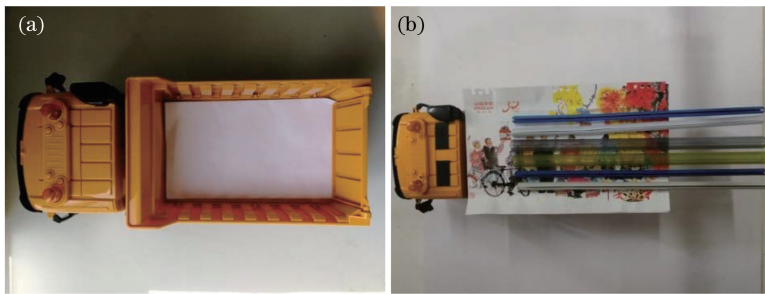


图 8 实验使用的模型车。(a)模型车 A;(b)模型车 B

Fig. 8 Model trucks used in the experiment. (a) Model truck A, (b) model truck B

表 1 不同行驶速度下的测量结果

Table 1 Measurement results at different driving speeds

| Tested model truck | Velocity / (m · s ⁻¹) | True value / mm | Measured value / mm | Error ratio / % |
|--------------------|-----------------------------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| Model truck A | 0.15 | 360/9000 | 363/9075 | 0.83 |
| | 0.30 | 360/9000 | 366/9150 | 1.67 |
| Model truck B | 0.15 | 480/12000 | 481/12025 | 0.21 |
| | 0.30 | 480/12000 | 485/12125 | 1.04 |

误差分别为 0.83%、1.67%，对模型车 B 的测量误差分别为 0.21%、1.04%。

分别在光照强度为 50、300、800 lx 下进行机器视觉测量，测量时模型车的速度为 0.30 m/s，可模拟实际货车以 20 km/h 的速度行驶，测量结果如表 2 所示。可以发现，三种测试场景下，本方法对模型

车 A 的测量误差分别为 3.06%、1.11%、1.38%，对模型车 B 的测量误差分别为 2.50%、1.87%、0.63%；平均误差为 1.76%。这表明当光照强度大于 300 lx、车辆行驶速度小于等于 20 km/h 时，货车长度的测量误差均小于实际尺寸的 2%，满足 GB21861-2014 的要求。

表 2 不同光照情况下的测量结果

Table 2 Measurement results under different light conditions

| Tested model truck | Illumination /lx | True value /mm | Measured value /mm | Error ratio /% |
|--------------------|------------------|----------------|--------------------|----------------|
| Model truck A | 50 | 360/9000 | 371/9275 | 3.06 |
| | 300 | | 356/8900 | 1.11 |
| | 800 | | 365/9125 | 1.38 |
| Model truck B | 50 | 480/12000 | 492/12300 | 2.50 |
| | 300 | | 489/12175 | 1.87 |
| | 800 | | 485/12075 | 0.63 |

4 结 论

基于机器视觉测量原理和图像拼接技术，提出了一种测量货车外轮廓尺寸的方法。针对货车车身过长，难以直接测量的问题，首先采用 ORB 算法提取图像特征，选用汉明距离法进行粗配准，然后用 RANSAC 算法进行精配准，最后借助渐入渐出融合法消除拼接缝隙，得到全景车身图像，从而计算出货车的实际长度。实验结果表明，本方法的动态、无接触特点可适用于高速公路收费站、超限检测站等对实时性、准确性要求较高的户外场景。但在光照极端恶劣情况下存在一定不足，还需在今后的工作中进一步展开研究。

参 考 文 献

- [1] Song J, Wang W W, Li L, et al. Research status and prospects of automotive safety technology [J]. Journal of Automotive Safety and Energy, 2010, 1(2): 98-106.
宋健, 王伟玮, 李亮, 等. 汽车安全技术的研究现状和展望[J]. 汽车安全与节能学报, 2010, 1(2): 98-106.
- [2] Liang C J, Duan F J, Yang Y, et al. A vehicle outer contour dimension measuring method based on computer vision technology [J]. Opto-Electronic Engineering, 2016, 43(1): 42-48, 54.
梁春疆, 段发阶, 杨毅, 等. 车辆外廓尺寸计算机视觉动态测量[J]. 光电工程, 2016, 43(1): 42-48, 54.
- [3] Yang Z S, Yang Z H, Zhao D H. Research on vehicle auto-classification of freeway toll collection system[J]. Journal of Jilin University (Engineering

and Technology Edition), 2002, 32(3): 6-9.

杨兆升, 杨志宏, 赵丹华. 高速公路收费系统的车型自动分类[J]. 吉林工业大学学报(工学版), 2002, 32(3): 6-9.

- [4] Yu L L. Design of detecting system for the width and height of automobiles based on laser ranging technology[J]. Electronic Design Engineering, 2011, 19(10): 103-106.
禹琳琳. 基于激光测距技术的车辆宽高检测系统的设计[J]. 电子设计工程, 2011, 19(10): 103-106.
- [5] Chen H F, Sun Y Q, Wang Y W, et al. High-precision laser tracking measurement method and experimental study[J]. Chinese Journal of Lasers, 2018, 45(1): 0104003.
陈洪芳, 孙衍强, 王亚韦, 等. 高精度激光追踪测量方法及实验研究[J]. 中国激光, 2018, 45(1): 0104003.
- [6] Zhai N B, Su J, Liu Y M, et al. Testing system of vehicle body dimension based on computer vision [J]. Computer and Communications, 2006, 24(3): 22-26.
翟乃斌, 苏建, 刘玉梅, 等. 基于计算机视觉的汽车整车尺寸测量系统[J]. 交通与计算机, 2006, 24(3): 22-26.
- [7] Dong G J, Tang F, Wang X Z, et al. Study on high precision magnification measurement of imaging systems [J]. Acta Optica Sinica, 2018, 38(7): 0712007.
董冠极, 唐锋, 王向朝, 等. 成像系统倍率高精度测量技术研究[J]. 光学学报, 2018, 38(7): 0712007.
- [8] Chai X H, Gao F, Chu B C, et al. Two-dimensional vision measurement method with immediate plane calibration[J]. Acta Optica Sinica, 2018, 38(7): 0712001.

- 柴兴华, 高峰, 楚博策, 等. 一种即时平面标定的二维视觉测量方法[J]. 光学学报, 2018, 38(7): 0712001.
- [9] Li M Y, Yuan X D, Cao T F, et al. Effect of geometric calibration errors on deflectometry [J]. Acta Optica Sinica, 2018, 38(11): 1112006.
李萌阳, 袁晓东, 曹庭分, 等. 几何结构标定误差对偏折术的影响[J]. 光学学报, 2018, 38(11): 1112006.
- [10] Zhang R F, Shu Z Y, Nan G L. Calibration method for line-structured light[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2019, 56(22): 221101.
张瑞峰, 舒子芸, 南刚雷. 一种新的线结构光标定方法[J]. 激光与光电子学进展, 2019, 56(22): 221101.
- [11] Jing J F, Xie J, Li P F. Application of SURB combined with random sample consensus algorithm in shoe uppers matching[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2018, 55(1): 011005.
景军锋, 谢佳, 李鹏飞. 基于 SURB 结合随机抽样一致算法在鞋面匹配中的应用[J]. 激光与光电子学进展, 2018, 55(1): 011005.
- [12] Aman M, Hassanpour H, Tayyebi J. Inverse matroid optimization problem under the weighted hamming distances [J]. Bulletin of the Transilvania University of Brasov, 2016, 58(9): 85-98.
- [13] Xu X, Sun S Y, Sha Y J, et al. A method of infrared image mosaic based on improved RANSAC [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2014, 51(11): 111001.
徐鑫, 孙韶媛, 沙钰杰, 等. 一种基于改进 RANSAC 的红外图像拼接方法[J]. 激光与光电子学进展, 2014, 51(11): 111001.
- [14] Zhang J, Dai X, Sun D Q, et al. Directly fusion method for combining variable exposure value images [J]. Journal of Software, 2011, 22(4): 813-825.
张军, 戴霞, 孙德全, 等. 不同曝光值图像的直接融合方法[J]. 软件学报, 2011, 22(4): 813-825.
- [15] Yu L, Holden E J, Dentith M C, et al. Towards the automatic selection of optimal seam line locations when merging optical remote-sensing images [J]. International Journal of Remote Sensing, 2012, 33(4): 1000-1014.
- [16] Zhao X Q, Xu Z Y. Image matching algorithm based on improved FAST and FREAK [J]. Journal of Lanzhou University of Technology, 2018, 44(3): 83-87.
赵小强, 徐铸业. 基于改进的 FAST 和 FREAK 的图像匹配算法[J]. 兰州理工大学学报, 2018, 44(3): 83-87.
- [17] Wang C M. Real time non-rigid surface detection based on binary robust independent elementary features [J]. Journal of Applied Research and Technology, 2015, 13(2): 297-304.
- [18] Bapat R B, Kurata H. On Cartesian product of Euclidean distance matrices [J]. Linear Algebra and its Applications, 2019, 562: 135-153.
- [19] Zhu Y J, Zhou L S, Zhang L Y, et al. A multiscale method of contour matching based on Hausdorff distance [J]. China Mechanical Engineering, 2004, 15(17): 1553-1556, 1561.
朱延娟, 周来水, 张丽艳, 等. 基于 Hausdorff 距离的多尺度轮廓匹配算法[J]. 中国机械工程, 2004, 15(17): 1553-1556, 1561.
- [20] Xu X B, Fei Z W, Tan Z Y, et al. Improved calibration method based on the RANSAC approach and an improved gray centroid method for a laser-line-based structured light system [J]. Applied Optics, 2019, 58(35): 9603-9613.
- [21] Luo Y T, Wang Y, Zhang H M. Image-stitching algorithm by combining the optimal seam and an improved gradual fusion method [J]. Infrared Technology, 2018, 40(4): 382-387.
罗永涛, 王艳, 张红民. 结合最佳缝合线和改进渐入渐出法的图像拼接算法[J]. 红外技术, 2018, 40(4): 382-387.