

DOI: 10.13382/j.jemi.B2002991

DAISY 和 LBP 描述符结合的三维点云粗拼接方法^{*}

闫蓓蓓¹ 娄小平²

(1. 北京信息科技大学 光电测试技术及仪器教育部重点实验室 北京 100192;
2. 北京信息科技大学 先进光电子器件与系统学科创新引智基地 北京 100192)

摘 要:针对三维点云拼接需借助点云信息几何特征的问题,采用 DAISY 描述符和 LBP 描述符结合的方法提取相邻测量站位重叠区域图像特征,解算出相邻测量站位坐标系之间的位置变换矩阵,从而将多测量站位的三维点云数据初步转换至同一坐标系中。首先,介绍了边缘检测和 DAISY 描述符的构建;然后,通过欧氏距离对相邻图片特征点进行匹配,根据匹配点之间的关系解算出不同站位下的坐标转换关系。实验结果表明,该方法在不使用其他辅助工具的前提下可以较好实现三维点云数据粗拼接,为点云拼接技术在三维重建和逆向工程等领域的应用提供了理论依据。

关键词: 特征提取;DAISY 描述符;点云拼接

中图分类号: TN06;TP391 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520. 60

Coarse registration method of 3D point cloud based on DAISY and LBP descriptor

Yan Beibei¹ Lou Xiaoping²

(1. Key Laboratory of the Ministry of Education for Optoelectronic Measurement Technology and Instrument, Beijing Information Science and Technology University, Beijing 100192, China; 2. Innovation and Talent Introduction Base of Advanced Optoelectronic Devices and Systems, Beijing Information Science and Technology University, Beijing 100192, China)

Abstract: Aiming at the problem that the geometric features used for 3D point cloud registration, a combination of DAISY descriptor and LBP descriptor is used to extract the image features of the overlapping area of adjacent measurement stations, and the positions between the coordinate systems of adjacent measurement stations are solved. The transformation matrix is used to transform the 3D point cloud data of multiple measurement stations into the same coordinate system. First, the edge detection and the construction of DAISY descriptors are introduced. Then, the feature points of adjacent pictures are matched by Euclidean distance, and the coordinate transformation relationship at different stations is calculated based on the relationship between the matching points. The experimental results show that the method can well realize the coarse stitching of 3D point cloud data without using other auxiliary tools, and provide a theoretical basis for the application of point cloud registration technology in the fields of 3D reconstruction and reverse engineering.

Keywords: feature extraction; DAISY descriptor; point clouds registration

0 引 言

点云拼接技术随着时间的推移不断发展,目前已应用在各行各业,包括人脸识别、遥感影像、自动驾驶、逆向产品检测、形貌恢复等。为了满足不同应用需求,发展配准精度更高的点云拼接方法具有重要意义。迭代最近点

算法(iterative closest points, ICP)是逆向工程等领域广泛应用的经典点云拼接方法^[1],由 Besl 等于 1992 年提出,且后续研究者提出了很多改进方法。如何便捷、快速地获得适合 ICP 算法的迭代初值是点云拼接领域的研究热点之一,常用的粗拼接方法一般包括转台法^[2-3]、标签法、曲面特征法^[4-7]、二维图像法^[8]等。

本文所研究的视觉测量系统不借助其他辅助设备,

对常用的二维图像特征匹配方法进行研究,综合利用多种算子的特点对相邻测量站位视觉传感器所获取的二维图像进行特征描述,根据特征提取与匹配结果,计算得出相邻测量站位的坐标转换关系,从而辅助完成三维视觉测量系统所获取的三维点云数据的粗拼接。

1 特征提取

1.1 特征提取方法

针对一幅二维图像,若不加选取,直接对图像进行特征描述,不仅计算量巨大,而且一些不相关的信息还会导致特征点错误匹配,使误匹配率大大增加。本文在特征提取之前,首先采用 LoG (Laplacian-Gauss) 算子对待处理图像进行边缘检测,这样可以在保留图像重要细节的条件下,减小特征匹配的计算工作量。

1.2 描述符构建

1) DAISY 描述符

由 Tola 等^[9]提出的 DAISY 描述符是一种集效率和准确率为一身的新型局部特征描述符,它利用不同尺度的高斯函数对图像的方向图进行卷积。DAISY 描述符的结构如图 1 所示。

DAISY 描述符采用以像素点为圆心的中央对称型辐射性结构,在 Q 层半径不同的同心圆上每个圆周等间距地选取 T 个采样点。这种结构不会因为光照强度的变化、仿射角度的变化对结果产生较大影响。同一层的采样点高斯尺度相同,随着半径的增大,高斯尺度逐渐增大。

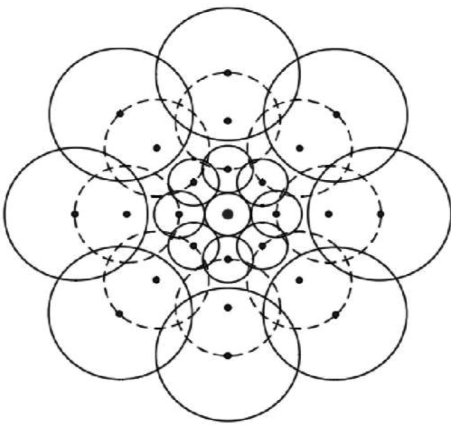


图 1 DAISY 描述符结构

Fig.1 The construction of DAISY

对给定的图像 I , 它的方向图为:

$$G_o(u, v) = \left(\frac{\partial I}{\partial o} \right)^+, (a)^+ = \max(a, 0) \quad (1)$$

式中: $G_o(u, v)$ 为该图像的点 (u, v) 在方向 o 上的梯度。

利用不同 Σ 的高斯核对梯度方向图进行若干次卷积,即可得到如下的卷积方向图:

$$G_o^{\Sigma_1} = G_{\Sigma} \cdot G_o^{\Sigma_v} = G_{\Sigma} \cdot G_o^{\Sigma_{v-1}} \quad (2)$$

$$\Sigma = \sqrt{\Sigma_v^2 - \Sigma_{v-1}^2}$$

式中: G_{Σ} 是高斯核。

用 H 维的向量可以描述中心点 (u, v) 处的梯度方向直方图:

$$\mathbf{h}_{\Sigma}(u, v) = [G_1^{\Sigma}(u, v), \dots, G_H^{\Sigma}(u, v)]^T \quad (3)$$

式中: $G_i^{\Sigma}(u, v)$ 表示 Σ 在不同方向的梯度图; $\mathbf{h}_{\Sigma}(u, v)$ 归一化为单位范数 $\tilde{\mathbf{h}}_{\Sigma}(u, v)$, 则点 (u, v) 完整的 DAISY 描述符 $D(u, v)$ 可以表示为:

$$D(u, v) = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{h}}_{\Sigma_1}^T(u, v) \\ \tilde{\mathbf{h}}_{\Sigma_1}^T[l_1(u, v, R_1)], \dots, \tilde{\mathbf{h}}_{\Sigma_1}^T[l_T(u, v, R_1)] \\ \vdots \\ \tilde{\mathbf{h}}_{\Sigma_Q}^T[l_1(u, v, R_Q)], \dots, \tilde{\mathbf{h}}_{\Sigma_Q}^T[l_T(u, v, R_Q)] \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中: $l_j(u, v, R)$ 表示 j 方向距离点 $(u, v)R$ 远处的点。所以 DAISY 描述符的维数为 $H \cdot (T \cdot Q + 1)$, 参数 H, Q, T 的值越大, 则描述符的维数越大。

2) 局部二值模式 (LBP)

LBP 是一种利用灰度差值表示特征信息的描述子。由于采用灰度差值的方式, 所以它不会随着光照的变化而变化。以图 2 为例, 用周围像素灰度值减去中心像素灰度值得到的序列可以表示为:

$$T_{LBP} = t(b_1 - b_0, b_2 - b_0, \dots, b_8 - b_0) \quad (5)$$

式中: b_0 表示中心像素的灰度值; $b_1, \dots, b_8$ 表示周围像素的灰度值。

b_1	b_2	b_3
b_8	b_0	b_4
b_7	b_6	b_5

图 2 LBP 描述符结构

Fig.2 The construction of LBP

3) 本文描述符

综上所述, DAISY 描述符只是把每个采样点的高斯卷积直方图排列在一起; 仅排列每个采样点的信息将降低描述的准确性, 并降低局部描述的辨别力。

LBP 描述符通过比较中心点及其邻域之间的相对强度来构造, 是具有极高判别力的描述符。将 DAISY 描述符和 LBP 描述符结合在一起, 可以利用 LBP 的判别力优

势,构建一种新的描述方法^[10]。

与 LBP 的构造类似,使用中心点及其周围环境之间的卷积方向直方图差值来构造描述符。基于式(1)~(4),中心点与邻域点之间的卷积方向直方图之差可以写为:

$$g_{k_o} = G_{\Sigma_k} \cdot \left[\frac{\partial I(u \pm n, v \pm n)}{\partial o} \right]^+ - G_{\Sigma} \cdot \left[\frac{\partial I(u, v)}{\partial o} \right]^+ \quad (6)$$

式中: (u, v) 是中心点, $(u \pm n, v \pm n)$ 是邻域点, $\frac{\partial I(u, v)}{\partial o}$ 是点 (u, v) 在 o 方向上的梯度, G_{Σ} 是高斯核, Σ 和 Σ_k 表示两个相邻的尺度。中心点和邻域点之间的关系可以表示为:

$$g_o^T(u, v) = \{ \bar{h}_{\Sigma_o}^T [L_T(u_0, v_0, R_Q)] - \bar{h}_{\Sigma_1}^T(u_0, v_0) \} \quad (7)$$

因此,本文描述符可以表示为:

$$D(u_0, v_0) = [\bar{g}_1, \bar{g}_2, \dots, \bar{g}_Q]^T = \begin{bmatrix} \bar{g}_1(u_0, v_0), \dots, \bar{g}_1^T(u_0, v_0) \\ \bar{g}_2(u_0, v_0), \dots, \bar{g}_2^T(u_0, v_0) \\ \vdots \\ \bar{g}_Q(u_0, v_0), \dots, \bar{g}_Q^T(u_0, v_0) \end{bmatrix} \quad (8)$$

本文描述符的维数为 $H \cdot T \cdot Q$, 低于 DAISY 描述符的维数。

1.3 转换关系求取

利用欧氏距离作为判据,对利用上述特征提取方法得到的特征点进行判断,在两幅图像中找出一组对应的匹配点,之后用 RANSAC 算法剔除错误匹配点。利用对极几何知识^[11-21],对剔除误匹配之后的匹配点对进行归一化八点算法处理求得基础矩阵 F :

$$p'^T \cdot F \cdot p = 0 \quad (9)$$

式中: p' 和 p 分别表示相邻站位图像匹配点的齐次坐标。

已知基础矩阵 E 和本质矩阵 F 的关系:

$$E = K^T \cdot F \cdot K \quad (10)$$

式中: K 表示主相机的内参数矩阵。

求得本质矩阵 E ,而本质矩阵 E 又可以表示为:

$$E = [t]_{\times} \cdot R \quad (11)$$

式中: R 为旋转矩阵; t 为平移向量。利用上述公式即可求得相邻站位的转换关系,完成三维点云数据粗拼接。

2 实验结果分析

本实验采用迅恒科技公司的三维扫描仪作为二维图像和三维点云的获取工具,采用 15 cm×9 cm×20 cm 的大卫石膏图像作为被测物体,采用 MATLAB 2012 作为编程环境。

2.1 相机标定

首先对扫描仪的主相机(左相机)进行标定,采用 9×9 的棋盘格标定板,多次改变标定板的摆放位姿获得一组图像数据,如图 3 所示。

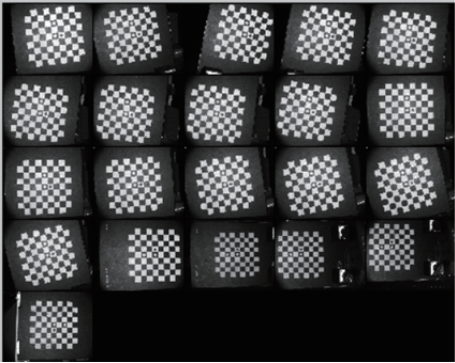


图 3 标定图片

Fig. 3 Calibration pictures

标定结果如表 1 所示,其中, α_x 、 α_y 分别表示 x 方向和 y 方向上的尺度因子, (u_0, v_0) 表示主点, Err 表示误差。

表 1 相机标定参数

Table 1 Camera internal reference calibration results

参数	左相机
α_x	3 076.767 0
α_y	3 079.411 6
u_0	615.570 7
v_0	462.411 2
Err	(0.077 2, 0.082 6)

2.2 特征匹配

本文进行特征匹配所用特征描述符的主要参数及设置值如表 2 所示。

表 2 描述符的参数设置

Table 2 Parameter set for constructing descriptor

参数	描述	值
H	卷积方向直方图的数量	8
Q	环的数量	2
T	每层的样本点数量	4
R	中心点到最外层样本点的距离	15

本文选用大卫石膏像作为被测物体,三维扫描仪在工作过程中,其左相机在两个相邻测量站位所拍摄的被测物体的二维图像如图 4 所示。

对图 4 的两幅二维图像分别进行边缘检测,之后用 1.2 节所述综合算子进行特征描述找出特征点,利用欧氏距离完成两幅图之间的特征点匹配,再利用 RANSAC 算法剔除匹配点对集合中的错误匹配特征点。处理结果如图 5 所示。



图 4 原始图像
Fig. 4 Original images

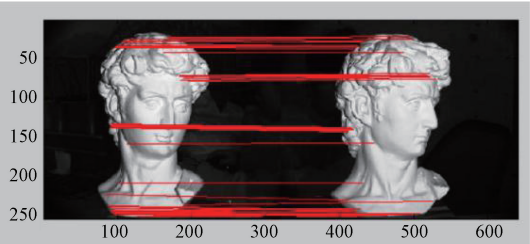


图 5 特征点匹配
Fig. 5 Feature point matching

使用归一化八点法对图 5 所示的匹配点对集合进行计算,所得基础矩阵如下:

$$F = \begin{bmatrix} -0.000\ 0 & -0.000\ 0 & 0.016\ 4 \\ 0.000\ 0 & -0.000\ 0 & -0.016\ 8 \\ -0.016\ 4 & 0.014\ 3 & 0.999\ 5 \end{bmatrix}$$

利用已知的相机内参矩阵,得到如下所示的本质矩阵:

$$E = \begin{bmatrix} -0.679\ 8 & -400.721\ 9 & -9.740\ 2 \\ 409.188\ 6 & -2.430\ 9 & 29.655\ 7 \\ 10.076\ 3 & -36.541\ 5 & -0.139\ 6 \end{bmatrix}$$

进一步分解本质矩阵,得到旋转矩阵和平移向量:

$$R = \begin{bmatrix} 0.984\ 4 & 0.174\ 7 & 0.022\ 1 \\ -0.175\ 4 & 0.999\ 0 & -0.038\ 5 \\ -0.015\ 0 & 0.041\ 8 & 0.983\ 7 \end{bmatrix}$$

$$t = \begin{bmatrix} 11.639\ 9 \\ -19.561\ 6 \\ -4.804\ 4 \end{bmatrix}$$

利用上述旋转平移矩阵对三维扫描仪在两个站位所得到的三维点云数据进行粗拼接,结果如图 6 所示。

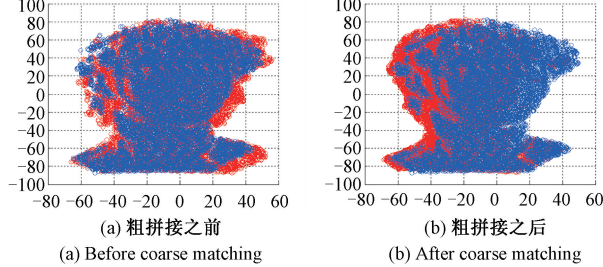


图 6 三维点云图
Fig. 6 Point clouds

为了进一步验证本文算法的正确性,将本文算法和其他粗拼接算法进行比较,文献[17]采用摄像机的模型来计算位姿转换矩阵,文献[18]采用 SURF 算法进行特征匹配,从而获得转换矩阵。将两种方法和本文算法点云配准之后的均方根误差进行比较,结果如表 3 所示。

表 3 各算法误差比较

Table 3 Comparison of various algorithm errors	
算法	均方根误差
文献[17]	12.46
文献[18]	6.052
本文	2.771

由表 3 可知,本文通过无约束的点云粗拼接算法,将 DAISY 描述符和 LBP 描述符相结合,减小了拼接过程中的计算量,提高了点云配准的精度。实验表明,本文算法可较好的完成点云粗拼接,为逆向工程等各个领域提供理论依据。

3 结 论

本文利用 DAISY 描述符和 LBP 描述符的特点,重新构建了描述符,对边缘检测后的二维图像进行特征描述和匹配,根据特征匹配点之间的关系解算出相邻站位的位置转换关系,从而对三维点云进行粗拼接,为精拼接提供初值。此方法不借助外部辅助设备,仅利用二维图像的特征求取转换关系。

参考文献

[1] 周春艳,李勇,邹峥嵘. 三维点云 ICP 算法改进研究[J]. 计算机技术与发展,2011,21(8):75-77,81.
ZHOU CH Y, LI Y, ZOU ZH R. Research on improvement of 3D point cloud ICP algorithm [J]. Computer Technology and Development,2011,21(8):75-77,81.

[2] 解则晓,张成国,张国雄. 线结构光测量数据的自动拼接方法[J]. 中国机械工程,2005,16(9):775-778.
XIE Z X, ZHANG CH G, ZHANG G X. Automatic stitching method of line structured light measurement data[J]. China Mechanical Engineering,2005,16(9):775-778.

[3] 郎威,薛俊鹏,李承杭,等. 基于旋转台参数标定实现多视角点云拼接[J]. 中国激光,2019,46(11):238-245.
LANG W, XUE J P, LI CH H, et al. Multi-view point cloud registration based on rotating table parameter calibration[J]. China Laser,2019,46(11):238-245.

[4] 朱延娟,周来水,张丽艳. 散乱点云数据配准算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2006,18(4):475-481.

- ZHU Y J, ZHOU L SH, ZHANG L Y. Scattered point cloud data registration algorithm [J]. Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics, 2006, 18(4):475-481.
- [5] 乔建委, 王建军, 许文硕, 等. 基于迭代最近点算法的激光点云拼接研究[J]. 山东理工大学学报(自然科学版), 2020, 34(2):46-50.
- QIAO J W, WANG J J, XU W SH, et al. Research on laser point cloud registration based on iterative closest point algorithm[J]. Journal of Shandong University of Technology (Natural Science Edition), 2020, 34(2):46-50.
- [6] 赵夫群, 周明全, 耿国华. 基于局部特征的点云配准算法[J]. 图学学报, 2018, 39(3):389-394.
- ZHAO F Q, ZHOU M Q, GENG G H. Point cloud registration algorithm based on local features[J]. Journal of Graphics, 2018, 39(3):389-394.
- [7] 孙培芪, 卜俊洲, 陶庭叶, 等. 基于特征点法向量的点云配准算法[J]. 测绘通报, 2019(8):48-53.
- SUN P Q, BU J ZH, TAO T Y, et al. Point cloud registration algorithm based on feature point normal vector[J]. Surveying and Mapping, 2019(8):48-53.
- [8] 张晓, 张爱武. 基于图像的点云初始配准[J]. 计算机工程与设计, 2014, 35(10):3507-3512.
- ZHANG X, ZHANG AI W. Initial registration of point clouds based on images[J]. Computer Engineering and Design, 2014, 35(10):3507-3512.
- [9] TOLA E, LEPETIT V, FUA P. A fast local descriptor for dense matching[P]. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2008.
- [10] ZHANG C, XUE B, ZHOU F. Low-dimension local descriptor for dense stereo matching and scene reconstruction [J]. Optical Engineering, 2017, 56(8):083105.
- [11] 孙光民, 王晨阳. 一种基于改进 SIFT 的图像检索算法[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(8):32-37.
- SUN G M, WANG CH Y. Image retrieval algorithm based on improved SIFT [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2016, 35(8):32-37.
- [12] 沈彤, 刘文波, 王京. 基于双目立体视觉的目标测距系统[J]. 电子测量技术, 2015, 38(4):52-54.
- SHEN T, LIU L B, WANG J. Target ranging system based on binocular stereo vision [J]. Electronic Measurement Technology, 2015, 38(4):52-54.
- [13] 许佳佳, 张叶, 张赫. 基于改进 Harris-SIFT 算子的快速图像配准算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(1):48-54.
- XU J J, ZHANG Y, ZHANG H. Fast image registration algorithm based on improved Harris-SIFT operator [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2015, 29(1):48-54.
- [14] 刘立, 万亚平, 刘朝晖, 等. 基于 SIFT 匹配算法的移动机器人单目视觉定位研究[J]. 系统仿真学报, 2012, 24(9):1823-1825, 1830.
- LIU L, WAN Y P, LIU Z H, et al. Research on monocular visual positioning of mobile robot based on SIFT matching algorithm [J]. Journal of System Simulation, 2012, 24(9):1823-1825, 1830.
- [15] SHEN T, LIU W B, WANG J. Target ranging system based on binocular stereo vision [J]. Electronic Measurement Technology, 2015, 38(4):58-60.
- [16] 郭清达, 全燕鸣, 姜长城, 等. 应用摄像机位姿估计的点云初始配准[J]. 光学精密工程, 2017, 25(6):1635-1644.
- GUO Q D, QUAN Y M, JIANG CH CH, et al. Initial registration of point clouds using camera pose estimation[J]. Optics and Precision Engineering, 2017, 25(6):1635-1644.
- [17] 史艳侠, 娄小平, 李伟仙. 线结构光点云粗拼接方法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2018, 32(6):12-16.
- SHI Y X, LOU X P, LI W X. Coarse stitching of point structured cloud of line structured light research on unconstrained method of surface measurement [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2018, 32(6):12-16.
- [18] 余洪山, 付强, 孙健, 等. 面向室内移动机器人的改进 3D-NDT 点云配准算法[J]. 仪器仪表学报, 2019, 40(9):151-161.
- YU H SH, FU Q, SUN J, et al. Improved 3D-NDT point cloud registration algorithm for indoor mobile robot[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2019, 40(9):151-161.
- [19] 查易艺, 孙权森, 罗楠, 等. 基于 FAST 和 DAISY 的遥感图像配准算法[J]. 计算机应用研究, 2016, 33(2):624-628.
- ZHA Y Y, SUN Q S, LUO N, et al. Remote sensing image registration algorithm combining FAST with DAISY[J]. Application Research of Computers, 2016, 33(2):624-628.
- [20] 罗楠, 孙权森, 陈强, 等. 结合 SURF 特征点与 DAISY 描述符的图像匹配算法[J]. 计算机科学, 2014, 41(11):286-290, 300.
- LUO N, SUN Q S, CHEN Q, et al. Image matching algorithm combining SURF feature point and DAISY descriptor[J]. Computer Science, 2014, 41(11):286-290, 300.

[21] 杨薇,董洪伟,刘蕾. 基于 SIFT 和 Daisy 相结合的立体匹配算法[J]. 计算机工程与应用, 2014, 50(12): 147-150, 165.

YANG W, DONG H W, LIU L. Stereo matching algorithm based on combination of SIFT and Daisy descriptor[J]. Computer Engineering and Applications, 2014, 50(12): 147-150, 165.

作者简介



闫蓓蓓, 2017 年于河南科技大学获得学士学位, 现为北京信息科技大学硕士研究生, 主要研究方向为视觉与光电检测。
E-mail: 1321942049@qq.com

Yan Beibei received her B. Sc. degree from Henan University of Science and

Technology in 2017. Now she is a M. Sc. candidate at Beijing Information Science and Technology University. Her main research interests include vision and photoelectric detection.



娄小平, 1991 年于北京航空航天大学获得学士学位, 1998 年于北京航空航天大学获得硕士学位, 现为北京信息科技大学教授, 主要研究方向为视觉检测、光电精密测试技术等。

E-mail: louxiaoping@bistu.edu.cn

Lou Xiaoping received her B. Sc. and M. Sc. degrees from Beihang University in 1991 and 1998, respectively. Now she is a professor at Beijing Information Science and Technology University. Her main research interests include machine vision and photoelectric test technology.