

DOI: 10.13382/j.jemi.2017.12.008

# 线纹辨识与特征值提取算法研究\*

徐从裕<sup>1</sup> 魏广智<sup>1</sup> 丁晨<sup>2</sup> 景加慧<sup>1</sup> 杨雅茹<sup>1</sup>

(1. 合肥工业大学 仪器科学与光电工程学院 合肥 230009; 2. 安徽省计量科学研究院 合肥 230051)

**摘要:**为解决线纹尺的线纹磨损、线纹划痕、摄像头成像失焦、曝光过弱或过强以及线纹尺照射光不均匀等对线纹辨识的影响,提出了一种线纹辨识及线纹中心线特征值提取算法:1)采用区域划分法确定每个线纹灰度极值的位置;2)通过极值加权法提取每个线纹中心线的特征值;3)对线纹中心线上的图像灰度值进行平滑处理后,再搜索线纹中心线端点坐标,并根据端点坐标值大小确定主线纹中心线的特征值。实验表明,所述的线纹辨识及线纹中心线特征值提取算法基本上可以消除上述问题对线纹辨识的影响,且线纹中心线的特征值提取正确。

**关键词:**线纹辨识;极值加权;特征值提取

**中图分类号:** TB921; TN707 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** TP391

## Study on algorithm for line scale identification and eigenvalue extraction

Xu Congyu<sup>1</sup> Wei Guangzhi<sup>1</sup> Ding Chen<sup>2</sup> Jing Jiahui<sup>1</sup> Yang Yaru<sup>1</sup>

(1. School of Instrument Science and Opto-electronics Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;  
2. Anhui Institute of Metrology, Hefei 230051, China)

**Abstract:** To solve the problem of line scale identification affected by line scale wear, line scale scratch, camera imaging out of focus, weak or strong exposure and uneven illumination of the line ruler, an algorithm for line scale identification and central line eigenvalue extraction is proposed. Firstly, the location of each gray extremum of line scale is acquired by region division method. Then, the eigenvalue of each center line of line scale is determined by extremum weighted method. Finally, the gray value on each center line of image is firstly smoothed, and then the gray jump terminal coordinate value of each line scale is searched, and the central line eigenvalue of the main line scale is derived according to the coordinate value. The experimental results show that the algorithm for line scale identification and central line eigenvalue extraction can eliminate the influence of the problems above, and the eigenvalue extraction of each central line is correct.

**Keywords:** line scale identification; extremum weighting; eigenvalue extraction

## 0 引言

图像法的线纹尺检定<sup>[1-2]</sup>过程本质上是线纹中心线特征值<sup>[3]</sup>的提取过程,即线纹中心线的像素点坐标提取过程,而线纹中心线特征值提取的关键是线纹的准确辨识<sup>[4-7]</sup>。影响线纹辨识的因素包括:1)线纹磨损以及线纹划痕<sup>[8]</sup>造成的线纹分辨率下降和线纹不连续的问题;2)

检定过程中的摄像头成像失焦、曝光过弱或过强以及线纹尺照射光不均匀<sup>[9]</sup>造成的线纹边沿模糊和线纹灰度波动问题。由于上述问题的存在,目前的线纹尺自动检定系统中,对摄像头成像质量要求很高<sup>[10]</sup>,且需要屏蔽环境光的影响,此外人工干预线纹尺检定还是一项不可或缺的工作。本文在分析线纹尺的特点及影响因素的基础上,提出了基于线纹区域灰度极值加权法的线纹辨识及线纹中心线特征值的提取算法,该算法不涉及到复杂的

收稿日期:2017-05 Received Date: 2017-05

\* 基金项目:安徽省计量科学研究院项目(W2014JSKF0454)、国家自然科学基金(51275149)资助项目

图像处理<sup>[11-15]</sup>,不要求过高的摄像头成像质量,对环境光的要求也大为下降,基本上消除了上述问题对线纹尺的线纹辨识和线纹中心线特征值提取的影响。

### 1 线纹辨识算法

线纹尺的线纹辨识是线纹中心线特征值正确提取的前提。由于受到线纹磨损、线纹划痕、摄像头成像失焦、曝光过弱或过强以及线纹尺照射光不均匀等因素的影响,导致了线纹尺的线纹分辨力下降、线纹断续、线纹边缘成像模糊以及线纹灰度值波动等问题的出现,这些问题的存在直接影响到了线纹的有效辨识。理想状态下的线纹尺成像图如图1所示,非理想状态下的线纹尺成像图如图2所示。



图1 理想线纹尺成像  
Fig.1 Ideal line ruler image

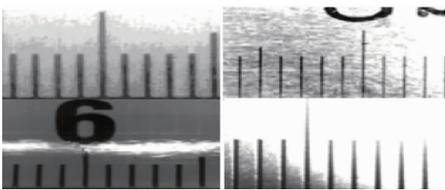


图2 非理想线纹尺成像  
Fig.2 Non-ideal line ruler image

#### 1.1 线纹成像区域划分

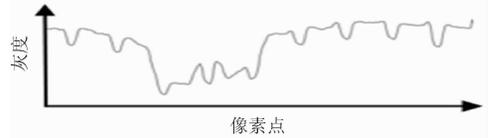
在摄像头成像图中,线纹尺的线纹图像、线纹尺边缘图像及线纹尺上的部分字符图像都会落在线纹尺成像图内,为有效辨识线纹,需要对摄像头成像图进行区域划分,以便划分后的区域图内只包含有线纹图像,而将线纹尺边缘图像及字符图像排除在划分后的区域图外,如图3所示。

#### 1.2 线纹位置区域划分

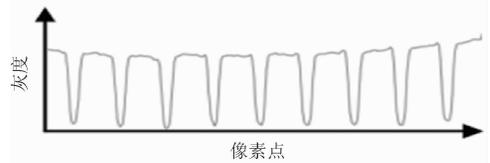
线纹尺的每一个线纹都对应一个灰度极值,但由于受到上述各种因素的影响,线纹灰度极值的个数通常都要大于尺面上的线纹的个数。为分辨出属于线纹的灰度极值,根据线纹尺的特点,即每个线纹都是等间距分布的,只要找出一个灰度极值,就可以对每个线纹位置进行区域划分,而由于每一个区域中仅包含一个线纹位置,因此很容易通过灰度极值法找出划分区域内的所有线纹尺的线纹位置,如图4所示。



(a) 成像区域划分图  
(a) Imaging area partition



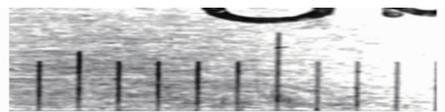
(b) 未划分区域灰度图  
(b) Gray curve of no area partition



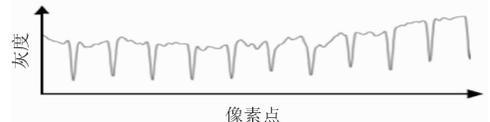
(c) 划分区域后灰度图  
(c) Gray curve after area partition

图3 线纹尺成像区域与灰度图

Fig.3 Imaging area & gray curve of line ruler



(a) 成像图  
(a) Imaging



(b) 灰度图  
(b) Gray curve



(c) 位置划分图  
(c) Position partition

图4 线纹尺线纹位置划分图

Fig.4 Scale position partition of line ruler

## 2 特征值提取

线纹尺检定的核心是线纹中心线特征值的提取问题。线纹中心线的特征值提取问题包括两方面内容:每个线纹中心线的特征值提取问题;主线纹中心线的特征值提取问题。

### 2.1 线纹中心线特征值提取

前面所述的通过灰度极值获取到的线纹位置,仅为线纹中心线所在的近似位置,如图5所示。

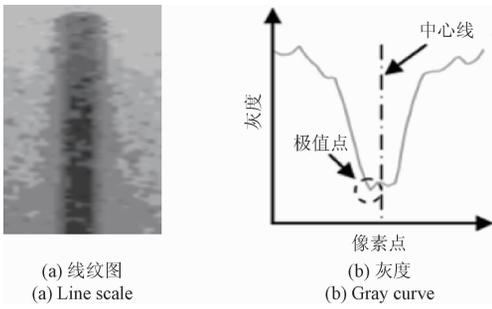


图 5 线纹成像与灰度图

Fig. 5 Imaging & gray curve of line scale

本文所述的线纹中心线特征值提取算法采用的是“极值加权法”，算法如下。

设  $G(x_0)$  为线纹灰度极值,  $x_0$  为尺长方向上线纹灰度极值对应的像数值,  $W$  为尺长方向上的最大灰度值, 则线纹中心线对应的尺长方向上的像数点坐标  $x_M$  为:

$$x_M = \frac{\sum_{i=-p}^q [W - G(x_0 + i)] \times (x_0 + i)}{\sum_{i=-p}^q [W - G(x_0 + i)]} \quad (1)$$

式中:  $p, q$  为整数, 且  $p > 0, q > 0$ , 并且满足  $W - G(x_0 + i) \geq k \times [W - G(x_0)] \mid_{q > i > -p}$ , 其中  $k$  的选取范围一般定为  $0.5 < k < 0.95$ 。

图 6 所示为极值法和极值加权法分别提取到的线纹中心线图。

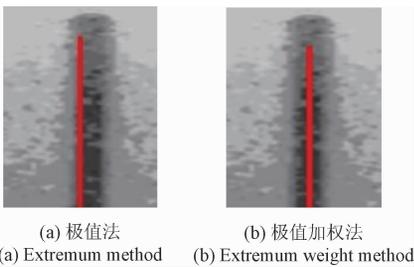


图 6 线纹中心线提取图

Fig. 6 Central line eigenvalue extraction of line scale

由图 6 可以看出, 极值加权法选取的是多个极值进行加权平均的, 其提取的线纹中心线特征值不会随着个别极值的变化而发生显著变化, 因此极值加权法提取的线纹中心线特征值更加接近真值。

### 2.2 主线纹中心线特征值提取

通过区域划分以及通过灰度极值加权法得到线纹中心线特征值, 其中有一个线纹中心特征值是属于主线纹中心线特征值, 对主线纹中心线特征值的提取也就归结于对线纹中心线端点坐标大小的辨识。

辨识主线纹中心线特征值, 单纯从灰度极值大小来判断是不可行的, 因为受到上述各种因素的影响以及受

到线纹尺上的字符影响, 若不对线纹成像区域进行划分, 则获取的主线纹对应的灰度极值有时会位于其他线纹灰度极值的中间, 进而造成主线纹中心线特征值的辨识错误。

本文采用的主线纹中心线特征值的辨识算法包括: 线纹中心线上的像素灰度值的平滑算法; 平滑后的线纹中心线端点坐标的判定算法。

#### 1) 像素灰度值平滑算法

线纹断续问题, 一方面是由于线纹尺的线纹磨损及外力划痕造成的, 另一方面也可由摄像头的曝光过弱或过强及环境光照射引起的。线纹断续容易引起线纹中心线端点坐标辨识错误, 为解决线纹的断续问题, 需要对线纹中心线上的像素灰度值进行平滑处理, 平滑算法如下。

设  $g(n, x, y)$  为第  $n$  个线纹中心线上坐标为  $x, y$  像素点处的灰度值,  $g_0(n, x, y)$  为第  $n$  个线纹中心线上坐标为  $x, y$  像素点处的平滑后灰度值, 则平滑后的灰度值  $g_0(n, x, y)$  为平滑前  $g(n, x, y)$  邻近灰度值的平均值, 其关系如下:

$$g_0(n, x, y) = \frac{\sum_{j=-m_1}^{m_1} \sum_{i=-m_2}^{m_2} g(n, x + i, y + j)}{(2 \times m_1 + 1) \times (2 \times m_2 + 1)} \quad (2)$$

式中:  $m_1$  和  $m_2$  为整数,  $(2 \times m_1 + 1) \times (2 \times m_2 + 1)$  为平滑算法中用到的像素点数目。

图 7 所示为带有划痕的线纹成像图以及平滑处理前后的沿线纹中心线的灰度图。

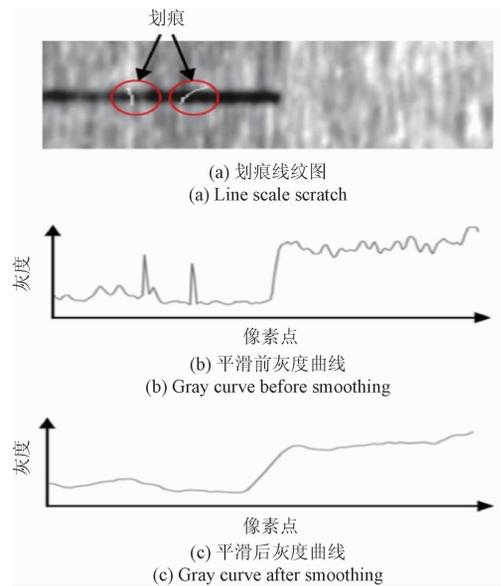


图 7 线纹平滑前后灰度曲线变化

Fig. 7 Line scale gray curve changed by smoothing

#### 2) 线纹中心线端点坐标判定算法

线纹中心线上的像素灰度值通过平滑算法后, 线纹存在的断续问题得到了解决, 这为搜索线纹中心线端点

坐标提供了条件。线纹中心线端点坐标判定的算法为如下。

设  $g_0(n, x, y)$ 、 $g_0(n, x, y_1)$  分别为第  $n$  个线纹中心线上坐标分别为  $x, y$  和  $x, y_1$  像素点灰度值, 其中的  $y_1 > y, b(n, x \pm z, y)$  为第  $n$  个线纹坐标为  $x \pm z, y$  的背景像素灰度值,  $z$  为偏离线纹中心线的  $z$  个像素点, 若满足式(3), 则可判定端点坐标为  $x, y$ 。

$$g_0(n, x, y_1) - g_0(n, x, y) \geq k_1 \times [b(n, x \pm z, y) - g_0(n, x, y)] \quad (3)$$

式中:  $0 < k_1 < 1$ , 一般情况下选取  $k_1 = 0.5$ 。

对每个线纹进行端点坐标判定, 之后再根据端点坐标值大小来确定主线纹中心线的特征值。

### 3 验证

本文研制的线纹尺检定有两种方式, 一种是与标准尺的比对检定方式, 另一种是采用光栅定标的检定方式。图 8 所示为集成了上述两种检定方式的检定装置。



图 8 线纹尺检定装置

Fig. 8 Calibration device of line ruler

图 9 所示为比对检定程序界面图。检定台上共设置有 6 个摄像头, 分别位于线纹尺的 0、1、2、3、4、5 m 处, 摄像头同时读取上述位置上的标准线纹尺和待检定线纹尺的线纹图, 通过对标准线纹尺与待检线纹尺的线纹辨识和特征值提取, 获取各自主线纹的特征值, 进而提取出待检线纹尺的检定误差值。

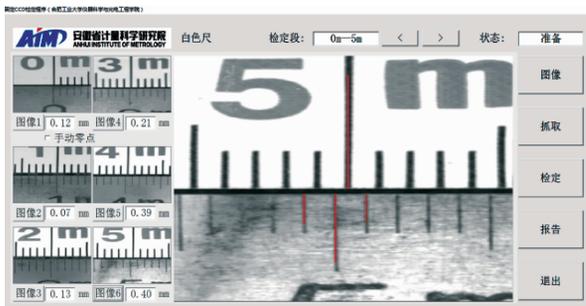


图 9 线纹尺比对检定界面

Fig. 9 Comparison calibration interface of line ruler

图 10 所示为光栅定标的检定程序界面。驱动步进电机带动摄像头和光栅读数头, 实时读取光栅位移测量值, 并读取检定点位置上的待检定线纹尺的线纹图, 通过对待检线纹尺的主线纹特征值提取, 再与检定点上的光栅位移测量值相加后减去检定值, 就可以提取出待检线纹尺的检定误差值。

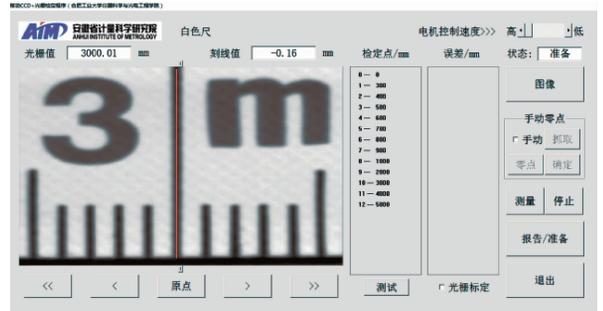


图 10 线纹尺光栅检定界面

Fig. 10 Grating calibration interface of line ruler

图 11 所示为几种不同图像质量的线纹辨识和特征值提取验证图。

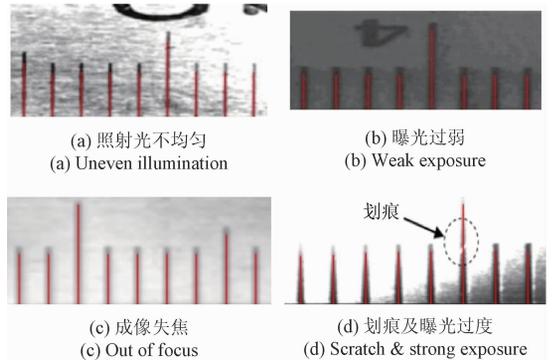


图 11 线纹辨识图

Fig. 11 Line scale identification

### 4 结论

本文根据线纹尺的特点, 提出了对线纹尺的线纹辨识及线纹中心线特征值提取的算法, 所采用的区域划分法及极值加权法有效地消除了由摄像头成像失焦、曝光过弱或过强以及线纹尺照射光不均匀等原因对线纹准确辨识的影响, 所采用的平滑算法及判定算法基本消除了由线纹磨损、线纹划痕等原因对主线纹中心线特征值的辨识错误。此外, 该算法不要求过高的摄像头成像质量, 对环境光的要求也大为下降。

### 参考文献

[1] 李建双, 赵岩. 基于磨擦传动技术的大长度自动控制测量标准装置[J]. 计量学报, 2009, 30(5A):

- 182-184.
- LI J SH, ZHAO Y. Large dimension auto-control measuring equipment based on friction-wheel drive techniques [J]. *Acta Metrologica Sinica*, 2009, 30(5A): 182-184.
- [2] 徐新华,王青,钱峥,等. 基于图像处理的钢尺自动检测系统[J]. *光学学报*,2009(6):1519-1522.
- XU X H, WANG Q, QIAN ZH, et al. Automatic measurement system of invar rods based on image processing [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009 (6): 1519-1522.
- [3] 邝泳聪,崔亮纯. 基于线纹尺的结构光视觉传感器标定新方法[J]. *华南理工大学学报*,2016,44(1):71-77.
- KUANG Y C, CUI L CH. A new method for calibration of structured light vision sensor based on wireline scale [J]. *Journal of South China University of Technology*,2016,44(1):71-77.
- [4] 贾伟广,吉建华,马志刚,等. 基于数字图像处理的高精度海洋潮位计量检测技术[J]. *计量学报*,2015,36(9):513-516.
- JIA W G, JI J H, MA ZH G, et al. Hardware technology of high accuracy measurement system for ocean tide based on image[J]. *Processing Acta Metrologica Sinica*,2015,36(9):513-516.
- [5] 余金栋,张宪民. 用于线纹显微图像的边缘检测算法[J]. *光学精密工程*,2015,23(1):271-281.
- YU J D,ZHANG X M. Edge detection algorithm for lines on microscopic image [J]. *Optics and Precision Engineering*,2015,23(1):271-281.
- [6] 叶孝佑,高宏堂,孙双花,等. 2 m 激光干涉测长基准装置[J]. *计量学报*,2012,33(3):193-197.
- YE X Y,GAO H T,SUN SH H, et al. The establishment of 2 m length measurement primary standard [J]. *Acta Metrologica Sinica*,2012,33(3):193-197.
- [7] 高宏堂,叶孝佑,邹玲丁,等. 2 m 比长仪纳米级精度线间距测量系统的研究[J]. *计量学报*,2012,33(2):97-103.
- GAO H T, YE X Y, ZOU L D, et al. Study of automatic measurement system for line space measurement with nanometer accuracy in 2 m length comparator [J]. *Acta Metrologica Sinica*,2012,33(2):97-103.
- [8] 王魏强,李建双,缪东晶,等. 高等别线纹尺中心线提取算法的研究[J]. *计算机测量与控制*,2016,24(3):196-199.
- WANG W Q,LI J SH,LIAO D J,et al. Study on algorithm for center line extraction of high-grade line scale [J]. *Computer Measurement & Control*, 2016, 24 (3): 196-199.
- [9] 王仲,郑榕浩,付鲁华,等. 光照不均匀图像的阈值分割[J]. *计算机应用研究*,2015,32(11):3467-3470.
- WANG ZH, ZHENG R H, FU L H, et al. Threshold segmentation of uneven illumination images [J]. *Application Research of Computers*, 2015, 32 (11): 3467-3470.
- [10] 万鸿飞,王蕾. 影像式钢卷尺/直尺全自动检测装置的研制[J]. *计量学报*,2015,36(6A):148-151.
- WAN H F,WANG L. Development of automatic standard device of image type steel tape and ruler [J]. *Acta Metrologica Sinica*,2015,36(6A):148-151.
- [11] 赵保亚,魏彩乔. 基于边缘检测的钢卷尺图像二值化方法[J]. *现代制造工程*,2012(12):101-104.
- ZHAO B Y,WEI C Q. Binarization method of steel tape based on edge detection [J]. *Modern Manufacturing Engineering*, 2012(12):101-104.
- [12] 赵军香,梁兴东,李焱磊. 一种基于图像差值的跑道异物检测算法[J]. *国外电子测量技术*,2016,35(9):17-23.
- ZHAO J X,LIANG X D,LI Y L. FOD detection approach based on image difference [J]. *Foreign Electronic Measurement Technology*,2016,35(9):17-23.
- [13] 贾宇申,蔡振江,程曼. 针对纵向纹理的图像自适应滤波算法[J]. *电子测量与仪器学报*,2017,30(3):443-447.
- JIA Y SH, CAI ZH J, CHENG M. Adaptive filtering algorithm aiming at vertical texture images[J]. *Journal of Electronic Measurement and Instrumentation*, 2017, 30(3):443-447.
- [14] 秦莉,董丽丽,许文海,等. CCD 图像灰度与照度的转换标定方法[J]. *仪器仪表学报*,2015,36(3):639-644.
- QIN L,DONG L L,XU H W,et al. Method for conversion calibration between CCD image gray value and illumination[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2015,36(3):639-644.
- [15] 牛敏,邬战军,牛燕雄,等. 一种基于排序统计理论的快速图像中值滤波法[J]. *电子测量技术*,2015,38(6):60-63.
- NIU M, WU ZH J, NIU Y X, et al. Fast image median filtering method based on statistical theory[J]. *Electronic Measurement Technology*,2015,38(6):60-63.

## 作者简介



徐从裕,分别在1982、2008年于合肥工业大学获得学士学位和博士学位,现为合肥工业大学教授,主要从事测量、微纳米驱动与控制技术。

E-mail:ahhf-xcy@163.com

**Xu Congyu** received B. Sc. and Ph. D. both from Hefei University of Technology in 1982 and 2008 respectively. Now he is a professor in Hefei University of Technology. His main research interest includes measurement technology and micro/nano-actuation and control technology.



魏广智,2013年于河北工业大学获得学士学位,现为合肥工业大学硕士研究生,主要研究方向为仪器仪表工程。

E-mail:610073875@qq.com

**Wei Guangzhi** received B. Sc. from Hebei University of Technology in 2013. Now he is a M. Sc. candidate in Hefei University of Technology. His main research interest includes instrumentation engineering.



丁晨,1996年于中国计量大学获得学士学位,2007年于中国科技大学获得硕士学位。现任职于安徽省计量科学研究所。目前研究方向为长度计量测试。

E-mail:carpenter\_2006@126.com

**Ding Chen** received B. Sc. from University

of Science and Technology of China in 1996, and M. Sc. from University of Science and Technology of China in 2007, respectively. Now he works at Anhui Institute of Metrology. His main research interest includes length measurement.



景加慧,2016年于南京林业大学获得学士学位,现为合肥工业大学硕士研究生,主要研究方向为互联网和图像处理等。

E-mail:gdhd\_jjh@sina.com

**Jing Jiahui** received B. Sc. from Nanjing Forestry University in 2016. Now he is a M. Sc. candidate in Hefei University of Technology. His main research interest includes internet, and image processing and so on.



杨雅茹,2017年于合肥工业大学获得学士学位,现为合肥工业大学硕士研究生,主要研究方向为光电检测、光栅纳米测量等。

E-mail:15755170620@163.com

**Yang Yaru** received B. Sc. from Hefei University of Technology in 2017. Now she is a M. Sc. candidate in Hefei University of Technology. Her main research interest includes photoelectric detection, and grating nano-measurement and so on.