

基于机器视觉的新型光缆节距检测方法

吴志鹏¹, 黄丹平^{1*}, 郭康², 田建平¹, 吴利成³, 于少东¹

¹四川轻化工大学机械工程学院, 四川 宜宾 644000;

²彩虹(合肥)液晶玻璃有限公司, 安徽 合肥 230000;

³河北经济管理学校, 河北 石家庄 050000

摘要 针对传统长度测量方法无法检测节距的问题, 提出一种基于机器视觉的光缆节距检测方法。该方法通过激光测速仪检测生产线速度, 产生相应脉冲触发工业相机采集信息, 低角度与背光照明相结合搭建检测系统。利用预处理操作解决灰度重叠几何性质不稳定等问题。为了提高定位精度, 提出自动构造模板法有效快速自动构造匹配模板, 并运用模板分区精确定位法解决直接匹配误判问题, 进而匹配识别换向点并检测节距长度。通过理论分析和实验验证, 该方法测出节距结果与标准节距结果误差为 0.02~0.10 mm, 满足工程需要, 且系统运行稳定可靠, 为检测光缆节距提供了一种新途径。

关键词 机器视觉; 光缆节距; 模板分区; 自动构造; 长度检测

中图分类号 TP242.6

文献标志码 A

doi: 10.3788/LOP57.081505

Optical Cable Pitch Detection Method Based on Machine Vision

Wu Zhipeng¹, Huang Danping^{1*}, Guo Kang², Tian Jianping¹, Wu Licheng³, Yu Shaodong¹

¹College of Mechanical Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Yibin, Sichuan 644000, China;

²Caihong (Hefei) LCD Glass Co., Ltd., Hefei, Anhui 230000, China;

³Hebei Economy Management School, Shijiazhuang, Hebei 050000, China

Abstract Traditional length-measurement methods cannot detect pitch. Accordingly, in this work, an optical cable pitch detection method based on machine vision is proposed. This method uses a laser velocimeter for detecting the speed of a production line and generates corresponding pulses to trigger the acquisition information by an industrial camera. A detection system was built by combining low angle with backlight illumination. Furthermore, a preprocessing operation was used to solve the instability of overlapping geometric properties of gray levels. To improve the positioning accuracy, an automatic template construction method is proposed to effectively construct matching templates. A template partition precise-positioning method was used to solve the problem of direct matching misjudgment; then the commutation point was matched and identified and the pitch length was detected. Theoretical analysis and experimental verification reveal that the error between the measured and standard pitch results is within 0.02–0.10 mm, which meets engineering requirements, and the system runs steadily and reliably. The proposed method provides a new way to detect optical cable pitch.

Key words machine vision; optical cable pitch; template partition; automatic construction; length detection

OCIS codes 150.0155; 150.1135; 150.3045; 150.5670

1 引言

随着信息技术的发展, 光纤通信系统的可靠性越来越受重视。光缆产品中, 节距长短是重要

的可靠性指标。光缆生产中, 光缆主要采用 SZ 绞合, 即左右两个方向都有缠绕, 在一个绞合周期内 (一左一右) 存在一个换向点, 去掉与反向角相邻的绞合圈数及长度 (包括反向角), 计算得到两个

收稿日期: 2019-08-16; 修回日期: 2019-09-17; 录用日期: 2019-09-24

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(51303115)、四川省教育厅项目(18ZB0421)

* E-mail: hdpix2002@163.com

换向点间的距离,除以绞合圈数即为节距。本文通过识别换向点来计算节距。节距越小(扭线越密),抗干扰能力越强,但节距过小则不能满足光纤的弯曲性能要求,易产生弯曲衰减损耗;节距过大,拉伸(收缩)余长不能达到要求,不能满足拉伸(收缩)性能。生产过程中,必须控制好成缆节距,不宜过大,更不应过小。

目前国内外关于光缆光纤相关长度的测量方法大部分基于材料本身。Hernández等^[1]提出了一种基于脉冲连续重复的方法,该方法产生的频率几乎与被测距离成反比,对材料本身要求高且无法进行节距测量。Terra等^[2]利用飞行时间技术对不同长度的光纤进行了精确的长度测量,成本颇高,且无法进行节距测量。Giusti等^[3]使用三坐标测量仪进行分段长度测量,但仪器成本过高,不利于推广。Terra^[4]提出了谐波被动锁模方法对光纤长度进行测量,在无法消除温度影响与不确定度影响的基础上,无法对节距进行测量。Wang等^[5]为了提高测量精度,提出了一种新的锯齿波相位调制方法,但无法脱离内部频率影响。赵宏波等^[6-8]研究光时域反射仪(OTDR)即光域反射仪设备对光缆长度进行测量,通过计算折射率可相对准确地测量光缆长度,但无法测量节距,因光缆材质不同需提前进行折射率检测。郑祥亮等^[9]运用基于 Sagnac 干涉仪的光纤长度测量方法进行光缆长度测量,在满足干涉周期的条件下,长度测量精度可达到厘米级,但无法进行节距长度测量。叶全意等^[10]运用基于相位调制干涉仪解调光链路的新颖光纤长度测量方法,该方法涉及的干涉法模板思想对光缆内部材料性质依赖程度较高,温度、湿度等会影响材料的折射率,且无法对光缆节距进行识别与测量。

本文提出了一种基于机器视觉的光缆节距检测方法,该方法运用机器视觉技术解决传统基于材料的光缆长度检测方法无法检测光缆节距的问题。该方法通过预处理解决光照不均匀引起光缆视觉信息灰度重叠,扎带影响节点几何性质不稳定等问题;利用模板分区精确定位匹配法自动构造模板以解决直接匹配造成的误判问题,经实验验证,1000 m 光缆长度内检测节距长度误差范围为 0.02~0.10 mm。

2 系统结构与测量原理

2.1 视觉检测系统

为了得到较好的视觉信息,建立光缆节距视觉

检测系统,将机器视觉技术应用到光缆节距实时测量领域,采用光缆节距视觉信息方法,通过硬件提取光缆中蓝色光纤,利用算法实现定位换向点并计算平均节距长度。进行检测时,打光应使用低角度照明与背光照明相结合,并使用滤光片尽量减少油膜反光与照度干扰。

节距视觉检测系统由一个线阵相机、两个蓝色 LED 条形光源、一个背光源、一片蓝色滤光片、一个镜头、激光多普勒测速装置、工控机和机械部分等组成。

2.2 测量原理

节距视觉检测系统主要由视觉信息采集和视觉信息检测两部分组成。光缆正常运行时,激光测速仪实时测量光缆运行速度,并根据速度快慢产生相对频率的脉冲,相机触发器触发线扫描相机每隔 0.01 mm 采集一条线,通过物体和相机之间的相对移动,将采集的 n 条线拼接为一张图像,因此该成像设计不受生产线速度影响。激光测速仪检测生产线速度,产生相应脉冲触发工业相机采集信息。工业相机获取视觉信息后,图像采集卡将采集信息信号转换成视觉信息信号,并传到上位机图像处理系统,在上位机中,通过图像处理算法对采集的光缆视觉信息进行处理,得到视觉信息效果和节距信息,如图 1 所示。

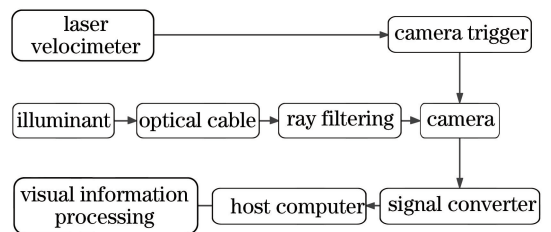


图 1 系统结构图

Fig. 1 Diagram of system structure

光路系统部分使用低角度照明与背光照明,与其他种类光源相比,其可抑制光缆表面油膜由于光照反射造成的灰度突变,且更好地体现光缆表面灰度视觉信息。采集两种光缆视觉信息如图 2 所示。

3 光缆节距视觉信息提取算法

换向点与节距如图 3 所示,正常光照强度下,由于光缆表面近似于圆柱面且表面凹凸不平,造成采集光照分布不均匀;光缆表面视觉信息复杂,扎带遍布光缆表面,使得提取目标、扎带与背景视觉信息灰度频谱重合;扎带影响与灰度重叠以第二类光缆表面视觉信息为例,如图 4 所示。

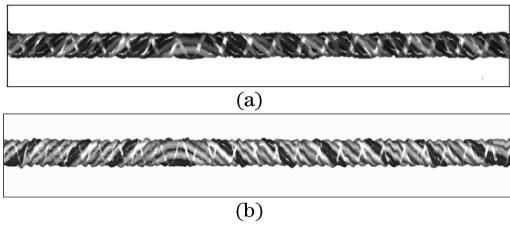


图 2 光缆视觉信息。(a)第一类;(b)第二类
Fig. 2 Optical cable visual information. (a) Class I;
(b) class II

3.1 自动分类预处理

第一类光缆与第二类光缆的二值化结果如图5



图 3 换向点与节距
Fig. 3 Commutation point and cable pitch

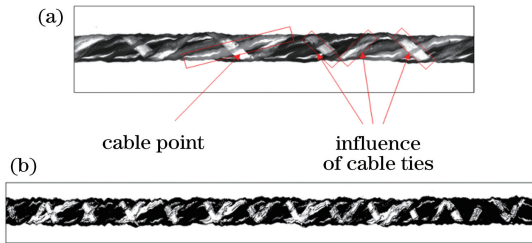


图 4 不同类型视觉信息影响。(a)第一类样本节点与扎带的影响;
Fig. 4 Influence of different types of visual information. (a) Influence of class I sample cable point and cable ties;
(b) influence of class II sample cable ties

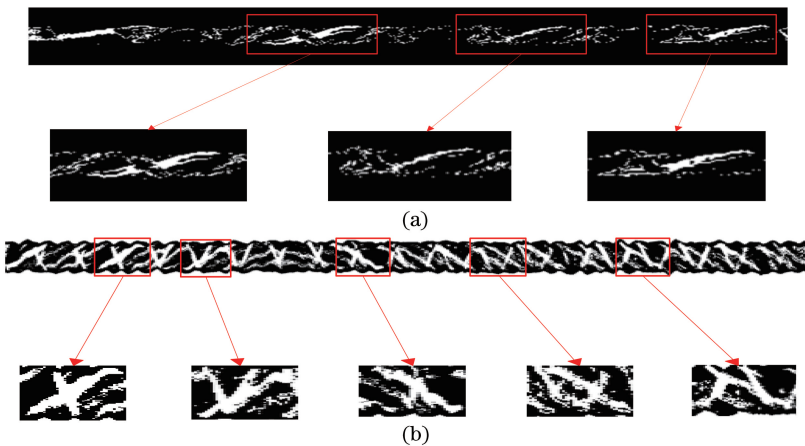


图 5 光缆的二值化结果。(a)第一类;(b)第二类
Fig. 5 Binarization results of original images. (a) Class I; (b) class II

针对第二类光缆,先运用中值滤波对节距视觉信息进行去噪,再从灰度信息出发,对光缆灰度视觉信息进行极限坐标灰度拉伸,突出灰度低节点灰度信息。拉伸后进行滤波和区域筛选,结果如图 7 所示。

所示,对光缆需进行预处理以便于模板匹配。

利用预处理算法对两类光缆进行自动光缆种类识别,通过指定灰度区域面积 S ,整体视觉信息平均灰度值 M 与灰度值方差 E 对光缆进行分类。分类条件为,当 $S \leq 3 \times 10^5, M \leq 232, E \in (42, 44)$ 时为第一类光缆;当 $S \geq 9 \times 10^5, M \geq 237, E \in (65, 67)$ 时为第二类光缆。

光缆种类分类后,针对第一类光缆先进行扎带去除,再运用形态学运算提取节点,并通过滤波处理后,去掉小面积干扰所得结果^[11]进行定方向平移,填补截断连通域,结果如图 6 所示。

3.2 模板分区精确定位法构造最优模板

预处理后直接用三种基本模板匹配会出现偏移与空集等误判问题,如图 8 所示,原因在于节点匹配区域与周边非匹配区域相似度高,且匹配区域中间

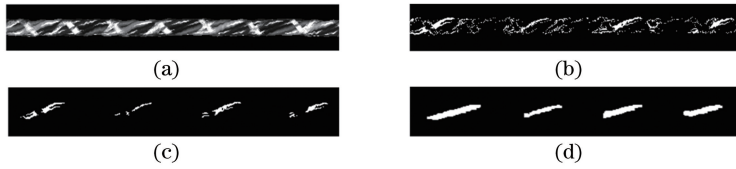


图6 第一类光缆预处理过程。(a)原始图像;(b)阈值化;(c)去噪;(d)拟合

Fig. 6 Pretreatment process of class I cable. (a) Original image; (b) thresholding; (c) denoising; (d) fitting

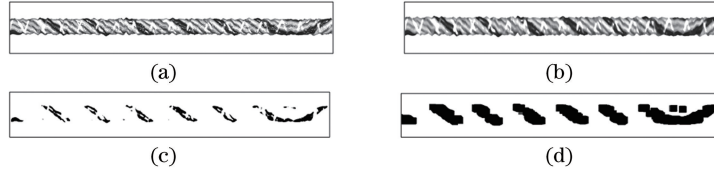


图7 第二类光缆预处理过程。(a)原始图像;(b)滤波;(c)灰度拉伸;(d)拟合

Fig. 7 Pretreatment process of class II cable. (a) Original image; (b) filtering; (c) grayscale stretching; (d) fitting

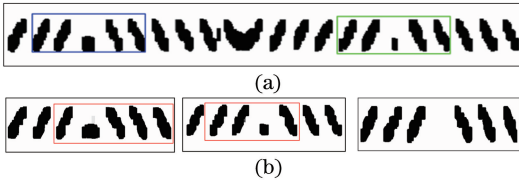


图8 匹配效果。(a)匹配成功;(b)匹配失败

Fig. 8 Results of matching. (a) Success for matching; (b) failure for matching

部分存在灰度与轮廓差异,如图9所示。经过实验验证,与其他两个类型相比,model1的匹配错误率较低,但仍无法消除误判。应用手动方式寻找最佳模板匹配较困难,因此提出使用模板分区精确定位匹配法,将模板分区为中间区域和周边区域,通过改变模板中间灰度均值和滤波结构矩阵大小自动构造最佳模板,解决因中间部分灰度与轮廓差异造成的误判。其中中间灰度均值为模板分区后中间部分灰度均值,滤波结构矩阵大小为滤波结构元素矩阵横纵元素个数的乘积,即 $5m \times m$ 。自动求解自适应模板流程如图10所示。

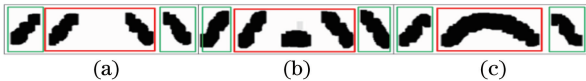


图9 不同类型换向点的模板区域划分。(a) model1; (b) model2; (c) model3

Fig. 9 Template area division for different types of commutation points. (a) Model1; (b) model2; (c) model3

结构元素是否符合待检测目标的结构特征是算法的关键^[12],根据图10,求解最优模块需获得最优中间灰度均值和最优滤波结构矩阵,可用公式表示为

$$F_1(u) = P_1(u_\alpha)u^2 + P_2(u_\alpha)u + P_3(u_\alpha), \quad (1)$$

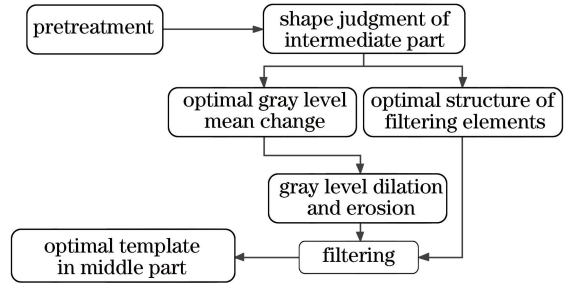


图10 自动构造模板流程图

Fig. 10 Flow chart of automatically constructing template

$$F_2(v) = U_1v^3 + U_2v^2 + U_3v + U_4, \quad (2)$$

$$\begin{cases} P_1(u_\alpha) = q_{11}u_\alpha^4 + q_{12}u_\alpha^3 + q_{13}u_\alpha^2 + q_{14}u_\alpha + q_{15} \\ P_2(u_\alpha) = q_{21}u_\alpha^4 + q_{22}u_\alpha^3 + q_{23}u_\alpha^2 + q_{24}u_\alpha + q_{25} \\ P_3(u_\alpha) = q_{31}u_\alpha^4 + q_{32}u_\alpha^3 + q_{33}u_\alpha^2 + q_{34}u_\alpha + q_{35} \end{cases}, \quad (3)$$

式中: u 为中间部分灰度均值; v 为滤波结构元素矩阵大小; u_α 为节点灰度均值; $F_1(u)$ 为中间部分灰度均值对应匹配错误率; $F_2(v)$ 为滤波结构元素对应匹配错误率; $U_1 \sim U_4$ 为三次函数拟合后系数; $P_1(u_\alpha)$ 、 $P_2(u_\alpha)$ 与 $P_3(u_\alpha)$ 为 $F_1(u)$ 的系数; q_{ij} 为节点灰度均值函数的系数。经实验可得到不同种类光缆节点灰度均值、中间部分灰度均值与匹配错误率等数据,对数据进行分析,二次曲线关系的误差值最小则准确度最高,故利用二次曲线拟合得到 $F_1(u)$ 。其中系数 q_{ij} 的求解方法如下:由不同种类光缆节点灰度均值、对应中间部分灰度均值与匹配错误率构成二次函数关系的系数进行统计分析,一元四次函数的拟合误差值最小,故拟合为四次函数,得到 q_{ij} 。 $F_2(v)$ 由实验得到 u_α 与 v ,呈现近似于三次函数的关系,故进行三次函数拟合得到 $U_1 \sim U_4$ 。

通过(1)式和(2)式,得到最优中间部分灰度均

值 u' 与滤波结构元素矩阵大小 v' 。在此基础上,通过以下步骤得到最优模板。1)计算所选取制作模板中间区域 C 平均灰度值 u_0 ,应用(4)式计算 s , s 为表征膨胀腐蚀结构元素矩阵长宽之积的参数。2)应用(5)式,得到 n 值,从而得到 $n \times n$ 结构元素方阵 A 。

$$s = l_1 u'^3 + l_2 u'^2 + l_3 u' + l_4, \quad (4)$$

$$\begin{cases} s = n \times n \Rightarrow n = \sqrt{s} \\ v' = 5m \times m \Rightarrow m = \sqrt{\frac{v'}{5}} \end{cases} \quad (5)$$

(4)式为不同种类光缆下 u' 与 s 的关系,经实验数据统计分析得到数据间关系在三次函数情况下误差值最小,对数据进行三次函数拟合,得到系数 $l_1 \sim l_4$ 。

对方阵 A 制作模板区域 C 进行膨胀或腐蚀,表达式为

$$\begin{cases} (C \ominus A) = D, u' < u_0 (\text{erosion}) \\ (C \oplus A) = D, u' > u_0 (\text{dilation}) \end{cases}, \quad (6)$$

式中: \oplus 为膨胀操作; \ominus 为腐蚀操作。由(6)式得到选取制作模板中间区域 D , 其灰度均值等于 u' 。3)根据 v' , 并应用(5)式,得到 $5m \times m$ 结构元素矩阵 B ; 4)应用矩阵 B 对制作模板中间区域 D 进行滤波处理,并与制作模板周边部分进行合并,最终求解得到最优模板如图 11 所示。



图 11 最佳模板

Fig. 11 Best template

3.3 节距计算

光缆表面灰度视觉信息在匹配成功后,节距换向点之间距离与换向点之间节点数目相除得到。设节距为 H , 换向点距离为 L , 两换向点间节点数目为 N , 则节距为 $H = L / N$ 。

4 实验结果与分析

根据第 3 节的实验分析,搭建图 12 所示检测系统。

4.1 预处理结果

针对节点被扎带遮盖产生截断、光照不均匀与表面油膜反光形成灰度重叠和节点视觉信息边缘特征不明显等问题,对光缆表面光照不均匀带来的灰度重叠与扎带影响的两类光缆进行预处理,结果如

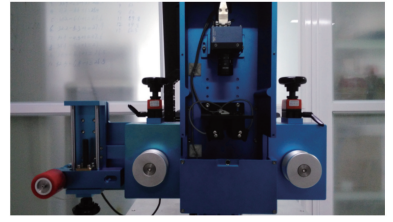


图 12 检测系统实物图

Fig. 12 Physical image of detection system

图 13 所示。根据后续匹配测试,预处理能够达到去除灰度重叠与扎带截断的效果。

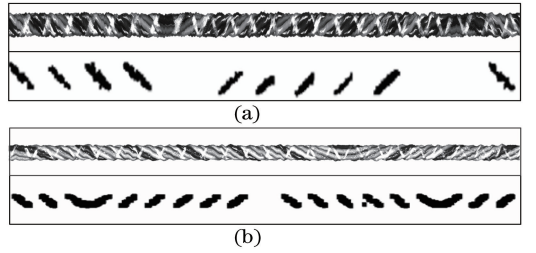


图 13 光缆预处理结果。(a)第一类;(b)第二类

Fig. 13 Cable pretreatment results. (a) Class I;

(b) class II

4.2 模板分区精确定位匹配结果

实验中,针对两类光缆各选取长为 150 m 进行数据采集与自动模板构造。针对采集数据,为了得到数据自身规律,对数据进行统计与分析归纳,得到最佳拟合效果。对于模板中间灰度均值与匹配错误率,以部分数据为例,结果如表 1 所示。从表 1 看到在不同节点灰度值下均存在匹配错误率最低点,对应制作模板中间部分灰度均值即为所求,匹配错误率与制作模板中间灰度均值在数值上具有以最优灰度均值为轴的对称性,且变化较平稳,故建立二次函数关系使数据关系更加明显。由于数据总量有限,且存在数据偶然性结果,故存在一定误差,但规律明

Table 1 Relationship between mean value of the template and matching error rate at different node gray level

		Cable point gray					
		116.05		111.94		97.86	
Error rate / %	Average gray	Error rate / %	Average gray	Error rate / %	Average gray	Error rate / %	Average gray
17.5	167	18.0	194	20.0	171		
15.0	177	15.5	202	16.0	188		
10.0	187	11.0	210	11.0	205		
5.5	197	3.0	218	4.5	213		
9.0	207	7.0	226	10.0	225		
14.0	217	13.0	234	14.0	236		
16.0	227	19.0	243	18.0	250		

显。计算得到,第一类光缆节点灰度均值为 109.36,计算得对应制作模板中间灰度均值为 210。第二类光缆节点灰度均值为 106.05,计算得对应制作模板中间灰度均值为 197。

对于滤波结构元素矩阵大小与匹配错误率的关系,对数据进行统计与分析,不同类型节点灰度均值对应不同最佳滤波结构矩阵大小,以部分数据为例,结果如表 2 所示,数据关系接近三次函数,故拟合为三次函数最准确。但由于样本总量与数据存在一定偶然性,故存在一定误差。第一类光缆最优滤波结构矩阵大小为 120×24 ,第二类为 100×20 。

得到最优模板后,对比直接模板匹配与模板分区精确定位法匹配的效果,对第二类光缆进行测试,光缆总长度为 1000 m,标准节距由厂家提供换算成像素长度为 710 pixel,如表 3 所示。从表 3 可以看

到经模板分区精确定位法定位的准确度有所提高,稳定性增强。模板分区精确定位法匹配部分结果如图 14 所示。

表 2 最优滤波结构矩阵 v' 与节点灰度均值关系
Table 2 Relationship between v' of optimal filtering structural elements matrix and mean values of node gray level

Error rate/%	0	0	1	0	0
Matrix	100×20	120×24	150×30	200×40	220×44
Cable point gray	116.05	111.94	106.33	97.86	90.36

表 3 普通模板匹配与模板分区精确定位法结果对比
Table 3 Comparison of common template matching and template partition precise positioning method

Method	Cable pitch /pixel	Variance / pixel	Error rate /%
Original	688	70	15.0
Precise positioning	711	3	0



图 14 模板分区精确定位法匹配结果

Fig. 14 Matching results of template partition precise positioning method

对两类光缆进行测试,光缆总长度均为 1000 m,厂家提供标准节距长度换算成像素长度,第一类为 690 pixel,第二类为 710 pixel。第一类与第二类光缆的节距测量平均值与方差等数据如表 4 所示。对比第一类与第二类光缆运用模板分区精确定位匹配法和直接模板匹配的效果,从中选取任意一段节距结果误差数据波动情况如图 15 所示。从图 15 可以看到模板分区精确定位匹配法与直接模板匹配误差大小差异明显,测得平均节距与标准差距在 2~10 pixel 之内,换算成长度单位即误差范围为 0.02~0.10 mm,模板分区精确定位法的结果满足工程要求。

实验过程中,数据关系由实验统计得到,样本数量会影响数据关系准确度;光缆在设备中运动会产生一定抖动,使得采集视觉信息在空间上存在灰度重叠,以上原因会导致测量结果与实际值产生一定

偏差,因此需要进一步完善方法与设备达到更加精确的测量效果。

表 4 两类光缆测得的平均节距与误差结果
Table 4 Average pitch and error results measured by two types of optical cables

Class	Length /m	Cable pitch /pixel	Variance /pixel
I	1000	694	4
II	1000	711	3

5 结 论

经过实验与工程测试,所提的基于机器视觉的新型光缆节距检测方法具有精度高、稳定性好及结构简单等优点。该方法通过预处理可解决光缆表面因自身凹凸不平,光照不均匀所导致的灰度重叠,研制自动模板构造方法。模板分区精确定位匹配法能够解决直接模板匹配导致的定位偏移与空集等误判

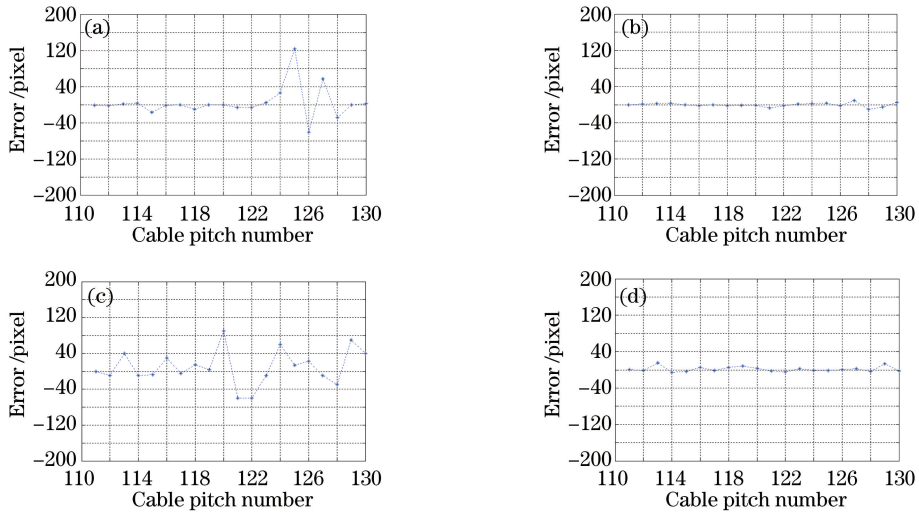


图 15 不同匹配方式、不同类型的节距误差数值结果。直接模板匹配(a)第一类,(c)第二类;模板分区精确定位法(b)第一类,(d)第二类

Fig. 15 Numerical results of different matching methods and different types of pitch errors. Direct template matching for (a) class I and (c) class II; template partition precise positioning method for (b) class I and (d) class II

问题,从而得到换向点位置精度,节距测量误差范围为 0.02~0.10 mm,并可测量不同种类光缆节距,该测量方法对工程上类似的被测量对象也有参考价值。

参 考 文 献

- [1] Hernández S E, Acosta L, Toledo J. Distance and cable length measurement system [J]. Sensors, 2009, 9(12): 10190-10200.
- [2] Terra O, Hussein H. Accurate fiber length measurement using time-of-flight technique [J]. Journal of Optical Communications, 2016, 37(2): 187-191.
- [3] Giusti R, Zanini F, Lucchetta G. Automatic glass fiber length measurement for discontinuous fiber-reinforced composites [J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2018, 112: 263-270.
- [4] Terra O. Precise fiber length measurement using harmonic detection of phase-locked cavity modes [J]. Optics and Lasers in Engineering, 2018, 105: 106-109.
- [5] Wang X, Wang T, Yu J, et al. Precise measurement of polarization maintaining fiber length based on sawtooth wave phase modulation [J]. Optik, 2018, 172: 249-256.
- [6] Zhao H B, Zhao Z Y, Ding J. Bidirectional OTDR-based long-range optical cable line tests [J]. Study on Optical Communications, 2011(1): 50-51, 67.

赵宏波, 赵子岩, 丁健. 基于双向 OTDR 测试的长距离光缆线路的测量 [J]. 光通信研究, 2011(1): 50-51, 67.

- [7] Li H. Based on OTDR and light power test of fiber optic fault monitoring application [J]. Computer Measurement & Control, 2014, 22(5): 1357-1359. 黎华. 基于 OTDR 和光功率测试的光纤故障监测应用方法 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22(5): 1357-1359.
- [8] Feng Q S. Application of OTDR in cable measuring [J]. Modern Industrial Economy and Informationization, 2016, 6(9): 80-82, 84. 冯琦帅. 浅谈 OTDR 在光缆测量中的应用 [J]. 现代工业经济和信信息化, 2016, 6(9): 80-82, 84.
- [9] Zheng X L, Sun Q S, Han Z, et al. Fiber length measurement method based on Sagnac interferometer [J]. Acta Optica Sinica, 2017, 37(1): 0106003. 郑祥亮, 孙权社, 韩忠, 等. 基于 Sagnac 干涉仪的光纤长度测量方法 [J]. 光学学报, 2017, 37(1): 0106003.
- [10] Ye Q Y, Yang C. Fiber length measurement system based on phase modulation optical link [J]. Chinese Journal of Lasers, 2013, 40(5): 0505003. 叶全意, 杨春. 基于相位调制光链路的光纤长度测量系统 [J]. 中国激光, 2013, 40(5): 0505003.
- [11] Huang D P, Liao S P, Yu S D, et al. Research on automatic counting system corrugated paper board based on machine vision [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2017, 53(10): 79-86.

- 黄丹平, 廖世鹏, 于少东, 等. 基于机器视觉瓦楞纸板自动计数系统研究[J]. 机械工程学报, 2017, 53(10): 79-86.
- [12] Li K B, Yu H Y, Zhou S J. Surface scratch detection of mechanical parts based on morphological features [J]. Acta Optica Sinica, 2018, 38(8): 0815027.
- 李克斌, 余厚云, 周申江. 基于形态学特征的机械零件表面划痕检测 [J]. 光学学报, 2018, 38(8): 0815027.