

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.07.002

基于机器视觉的枪弹钢芯自动检测系统

张亚军^{1,2}, 齐杏林¹, 董成基¹

(1. 军械工程学院弹药工程系, 石家庄 050003; 2. 总装备部重庆军代局, 重庆 400060)

摘要: 针对现有的手工枪弹检测技术效率低精度差且自动化程度不高的问题, 提出一种采用机器视觉技术设计的枪弹钢芯检测系统。该方法从钢芯传送定位、对钢芯最佳照射、选择图像采集设备和图像处理和识别着手, 对钢芯尺寸、底面缺陷、表面缺陷进行检测, 经过平滑去噪和图像增强等预处理后, 进行尺寸测量和缺陷识别, 并通过人工复检证明了准确性。实验结果证明: 相比传统的人工肉眼检测, 该自动检测系统所耗费时间大幅度缩减, 检测效率和检测精度均有较大提高。

关键词: 机器视觉; 钢芯; 自动检测; 尺寸测量; 缺陷识别

中图分类号: TJ411 **文献标志码:** A

Automated Test System for Bullet Steel Core Based on Machine Vision

Zhang Yajun^{1,2}, Qi Xinglin¹, Dong Chengji¹(1. Dept. of Ammunition Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China;
2. PLA Military Representation Bureau of General Equipment Headquarters in Chongqing, Chongqing 400060, China)

Abstract: In order to this problem of manual testing bullet is low efficiency and low precision and low automatic degree, put forward the automatic test system for bullet steel core based on machine vision technology. This paper start with transmission and location and the best illumination and image collection set and image processing and recognition for bullet steel core, after pretreatment of image smooth processing denoise and image enhancement, which check size, bottom defects and surface defects. Accuracy of this system is verified through manual testing. Experiment result shows the testing time is shortened sharply, testing efficiency and accuracy also improved compare to manual testing.

Key words: machine vision; steel core; automated test; size measure; defects recognition

0 引言

枪弹是一种非常严格的精密部件, 为了保证枪弹的质量, 提高装配一致性, 必须对弹头、弹壳、钢芯等零部件进行严格的制造精度检测和表面缺陷检测。检测主要包括 2 方面: 一是尺寸、重量等制造精度检测; 二是表面缺陷检测, 主要包括压痕、擦伤、锈斑、裂缝等。传统的人工检测方法精度和效率都较低, 使用自动检测技术提高枪弹检测精度和效率是一项急待解决的问题。彭旭等采用 12 工位高速检测转子模型设计测试系统, 并使用位移传感器测量相对位移差的方法^[1]来测量枪弹的尺寸。郭军用计算机图像处理技术检测弹痕^[2]。

上述研究对枪弹的检测不全面, 而且自动化程度不高。近年发展起来的机器视觉用机器代替人眼进行目标对象的识别、判断和测量^[3]。通过对图像信息的获取、处理实现对目标对象的测量和识别。相对于传统测量检验方法, 机器视觉技术的最大优点是快速、准确、可靠与智能化, 可提高产品检验的一致性、降低工人劳动强度以及实现检测自动化; 因此, 笔者基于机器视觉技术设计枪弹钢芯检测系

统, 实现对枪弹钢芯尺寸的自动测量和表面缺陷自动识别。

1 检测系统工作原理及结构组成

1.1 检测系统工作原理

基于机器视觉的枪弹钢芯检测原理如图 1, 首先需要由机械传输定位设备将钢芯送至检测平台并定位, 利用特殊光源以一定方向照射被测钢芯, CCD 摄像机在钢芯上扫描成像; 扫描所得的图像信号经过图像采集卡输入计算机, 通过图像预处理、二值化、确定检测区域等处理方法后得钢芯的二值图像, 提取二值图像中的几何特征参数, 就可得到钢芯的长度等尺寸; 再进行图像识别, 判断是否存在缺陷; 最后显示出检测结果, 并存入数据库。

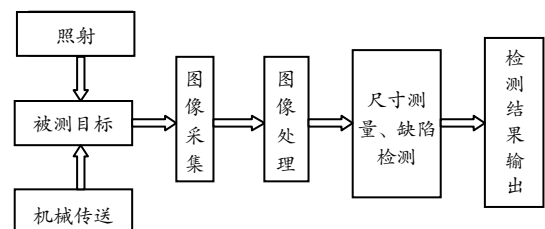


图 1 枪弹钢芯检测原理图

收稿日期: 2012-04-13; 修回日期: 2012-04-25

基金项目: 武器装备军内科研“弹药自动化检测分选技术研究”(ZLB09121)

作者简介: 张亚军(1978—), 男, 甘肃人, 工学学士, 工程师, 从事机电系统检测技术。

根据上述检测原理, 枪弹钢芯自动检测系统设计的关键内容包括钢芯传送定位、对钢芯最佳照射、选择图像采集设备和图像处理和识别^[4]。

1.2 结构组成

如图2所示, 枪弹钢芯检测系统总体结构主要包括机械传输驱动设备、系统控制显示设备和检测软件。

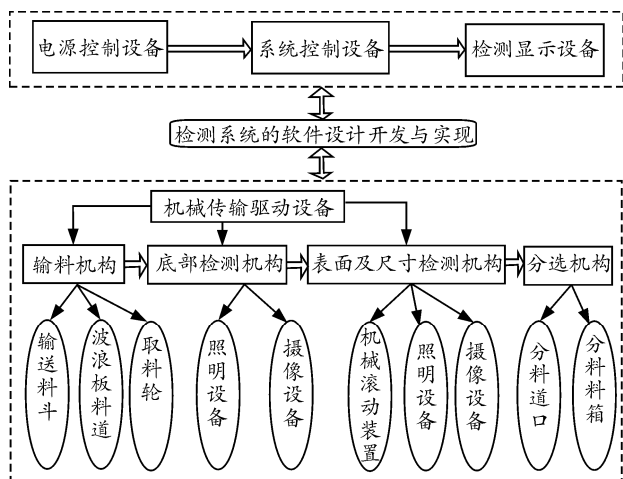


图2 枪弹钢芯检测系统总体结构

1.2.1 机械传输驱动设备主要构成

机械传输驱动设备的作用是将钢芯传送至检测台, 方便摄像机对枪弹钢芯的底部和表面进行扫描成像, 并按照检测结果将钢芯传送至不同的分料箱。枪弹钢芯传送系统包括料斗、料道、取料轮和机械滚动装置。料斗将钢芯按预期设计频率进行排序并送入波浪板料道。料道起连接料斗和取料轮的作用, 双通道的设计提高了输料效率。钢芯从料斗输出后, 通过料道输出到取料轮。钢芯取料轮上有3个V型槽取料位, 取料轮与底部检测装置协作完成对钢芯底部的图像采集。

底部检测装置由一个环形灯和一个棱镜组成, 如图3所示。钢芯从波浪板料道传输到取料轮V型

槽中后, 取料轮转到最高点时, 触发传感器, 通过工控系统发出检测信号, 摄像装置通过棱镜反射进行图像读取, 以实现钢芯底部的图像采集。

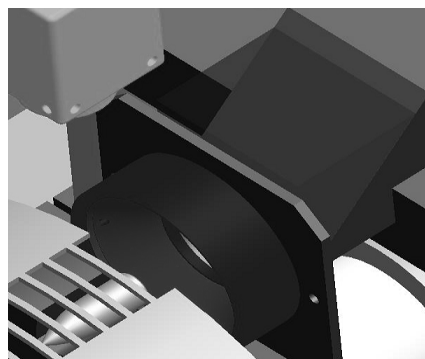


图3 底部检测装置

钢芯在取料轮完成底部检测后, 被输送到机械滚动装置, 如图4所示。该装置由两根旋转轴组成。钢芯进入检测工位后, 触发传感器, 2根旋转轴通过1台变速电机驱动相向转动, 并带动钢芯转动, 置于其上的光学照明和摄像装置在钢芯旋转过程中完成对钢芯表面缺陷的检测。同时, 置于机械滚动装置两侧的棱镜以及棱镜上方的摄像机完成对钢芯尺寸的检测。

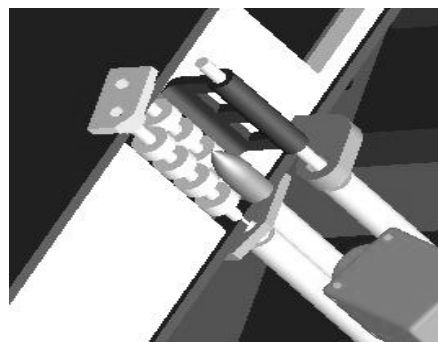


图4 滚动装置

1.2.2 照射及图像摄像装置设计

钢芯光学照明及摄像装置构成如图5。机械传送、照明和摄像协同配合才能实现良好的图像采集。

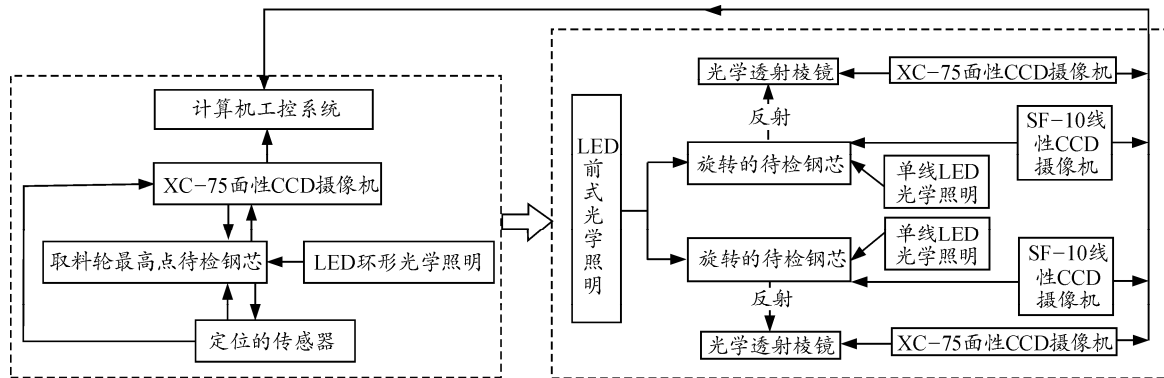


图5 钢芯光学照明及摄像装置图

被检测的钢芯在 CCD 像面上成像的像质，在很大程度上依赖于其照明情况^[5]；因此在本自动检测分选系统的设计过程中，依据钢芯不同检测部位，CCD 摄像对光学照明有不同要求，选择相应的光学照明方式和照明设备，主要包括 LED 前照明和 LED 结构光照明（单线光照明和环形光照明），再加上光学棱镜的配合，使得上述照明光源可通过绕射及反射增加亮度，使拍摄图像达到最佳的效果。

系统中，钢芯尺寸检测选用的 SONY 公司 XC-75 工业 CCD 相机，分辨率 768 dpi×494 dpi；扫描范围 7.95 cm×6.45 cm；感光面 8.4 μm×9.8 μm；水平/垂直扫描频率 15.734 kHz/59.94 Hz；水平清晰度 570 线；垂直清晰度 4 00l×F4。钢芯表面缺陷检测选用加拿大 DALSA 公司生产的高精度工业用 SF-10-02K40-00-R 相机，分辨率为 2 048×1；帧频 18 000 Hz；像源尺寸 14 μm。

2 尺寸测量和缺陷识别算法

图像分析和识别是机器视觉系统的关键部分，主要完成图像的预处理、尺寸检测和缺陷识别^[6]。对钢芯图像进行分析和识别是整个测试系统的关键所在，钢芯尺寸、底面缺陷、表面缺陷的检测都依赖于图像分析和识别，分析和识别的结果是判定钢芯是否合格以及对钢芯进行分选的依据。经过平滑去噪和图像增强等预处理后，进行尺寸测量和缺陷识别。

2.1 尺寸测量算法

钢芯要求检测的尺寸比较多，包括钢芯全长、尾椎高度、直径、弧形半径等。如图 6，竖线 1 到竖线 3 之间的距离表示待测钢芯的全长；竖线 1 到竖线 2 之间的距离表示待测钢芯尾椎高度；框 1 表示待测钢芯位置的直径；框 2 表示钢芯的弧形半径。

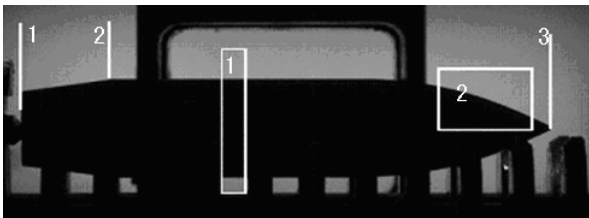


图 6 钢芯尺寸检测

提取轮廓信息后，钢芯全长、尾椎高度、直径通过直线拟合法测量，钢芯全长为尖顶到底部直线的距离，尾椎高度为尾椎与芯身的分界点到底部直线的距离，直径为钢芯芯身上下 2 条直线之间的距离。圆弧半径则需先拟合轮廓中的圆弧，然后再计

算圆弧半径。主要用到直线拟合算法和圆弧拟合算法。直线拟合方法^[3]如下：

直线函数为 $y = ax + b$ ， a ， b 是待定常数，记 $e_i = y_i - (ax_i + b)$ ，它反映计算值 y 与实际值 y_i 的偏差，由于 e_i 可以为负，故用偏差的平方来反映估计值与实际值的差异，用 $\sum_{i=1}^n e_i^2$ 来度量总偏差，当偏差

的平方和最小时，估计的直线与实际直线最接近。直线拟合问题即为确定直线 $y = ax + b$ 中 a ， b 的值

使得 $F(a, b) = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2$ 最小，由极值原理可知函数值最小时其倒数为零，即：

$$\frac{\partial F}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n x_i (y_i - ax_i - b) = 0$$

$$\frac{\partial F}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b) = 0$$

连解方程可得

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

$$b = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i - \frac{a}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

利用最小二乘法即可快速的求得直线方程。

圆弧拟合^[7]算法：采用双圆弧拟合在每 2 个相邻型值点之间作 2 段圆弧，使它们在这 2 个型值点之间相交并相切，过同一个型值点所作的左右两段圆弧还应在该型值点处相切。所构成的曲线在总体上也是一阶光滑，分段等曲率的多段圆弧。

$$E = \int_r (K^2 + 1) ds$$

式中： K 为局部曲率； γ 为所求的双圆弧曲线； ds 为弧长微分。

$$E = \sum_{j=1}^n (S_{1j} / R_{1j} + S_{1j} + S_{2j} / R_{2j} + S_{2j})$$

式中： S_{1j} 和 S_{2j} 分别是第 j 段区间中左右圆弧的弧长； R_{1j} 和 R_{2j} 是左右圆半径。

$$E = \sum_{i=1}^n E_i, \quad E_j = \frac{\theta_{1j}}{R_{1j}} + \theta_{1j} R_{1j} + \frac{\theta_{2j}}{R_{2j}} + \theta_{2j} R_{2j}$$

式中： θ_{1j} 和 θ_{2j} 是左、右圆心角。

欲使 E 最小，只须

$$\frac{\partial E_j}{\partial \theta_j} + \frac{\partial E_{j+1}}{\partial E_j} = 0$$

由此构成非线性方程组，用单变量牛顿法求解。

2.2 缺陷识别算法

通过阈值分割可以将钢芯图像中的缺陷特征提取出来。一方面, 该系统图像处理的对象不单单是一幅图像, 而是图像序列, 即处于旋转过程当中钢芯表面图像; 另一方面, 由于图像采集环境的变化(如光照, 位置的变化)以及缺陷类型各不相同, 滤波后图像直方图形状并不一定呈双峰状态。基于以上两方面的分析, 固定的阈值并不能满足缺陷特征提取的要求; 因此, 使用最大方差阈值^[8]算法来确定动态阈值, 从而分割图像。具体算法如下:

设某图像的灰度级为 L , 灰度值为 g_i 的像素数目 n_i 整幅图像的平均灰度 $u = \sum_{i=0}^{L-1} g_i \times \frac{n_i}{n}$; 设以 T 为阈值将图像分为 2 个区域: 区域 1 的面积比为 $\theta_1 = \sum_{i=0}^T \frac{n_i}{n}$, 平均灰度为 $u_1 = \frac{1}{\theta_1} \sum_{i=0}^T g_i \times \frac{n_i}{n}$, 区域 2 的面积比为 $\theta_2 = \sum_{i=T+1}^L \frac{n_i}{n}$, 平均灰度为 $u_2 = \frac{1}{\theta_2} \sum_{i=T+1}^L g_i \times \frac{n_i}{n}$ 。整幅图像的总平均灰度与区域 1、区域 2 的平均灰度之间的关系为 $u = u_1\theta_1 + u_2\theta_2$, 两区域的方差:

$\sigma^2 = \theta_1(u_1 - u)^2 + \theta_2(u_2 - u)^2$, 最大时, $T_m = \max(\sigma^2)$ 即为分割的最佳阈值。

直接应用最大方差阈值算法计算量较大, 对系统的实时性不利。笔者采用等价公式: $\sigma^2 = \theta_1\theta_2(u_1 - u_2)^2$, 计算最佳阈值。

通过使用动态阈值分割法将钢芯图像中的缺陷特征提取出来, 然后将缺陷面积转换成一定连通区域的像素数^[9], 转换的同时, 与缺陷样本进行对比, 如果符合缺陷样本的定义则停止转换并将已连通的区域标记为缺陷^[10], 然后对未识别的区域进行相同的识别操作。缺陷识别情况如图 7 所示。

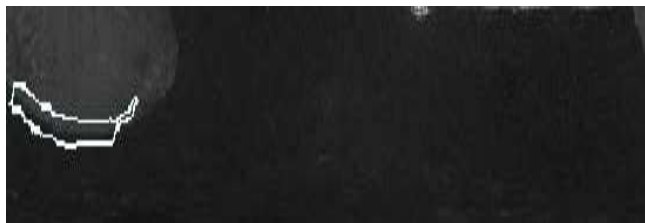


图 7 使用动态阈值法进行缺陷目标提取示意图

3 测试结果分析

根据前面设计, 开发了配套的软件, 并开展了测试实验。枪弹钢芯尺寸和表面外观的检测以及相关检测情况如图 8 所示。

通过该钢芯检测系统, 1 万枚钢芯检测完毕,

共耗时 120 min 左右, 其中表面不合格钢芯(含尖部不合格)数 48 枚, 底部缺陷钢芯数 24 枚, 尺寸超差钢芯数 36 枚, 去掉重叠情况, 其总计不合格弹数 89 枚, 不合格率为 0.89%。对检测结果不合格钢芯重新人工复检, 未发现检测错误的钢芯; 对检测结果合格的钢芯人工复检, 未发现漏检钢芯。

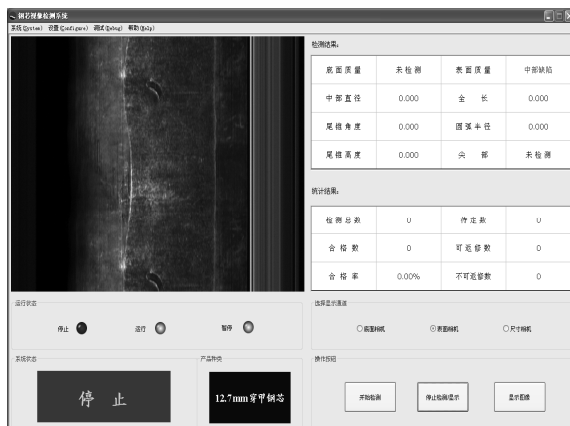


图 8 表面有凹坑缺陷的钢芯检测图像

4 结论

实践证明: 相比传统的人工肉眼检测, 应用该系统检测钢芯所耗费时间大幅度缩减, 检测效率和检测精度都大幅提升, 较人工检测更为先进。

参考文献:

- [1] 彭旭, 孔淼, 林虎成. 基于转子式的高速连续弹头供料控制系统[J]. 兵工自动化, 2010, 29(7): 74-77.
- [2] 郭军, 曾文涵, 谢铁邦. 弹头发射痕迹计算机图像比对系统研究[J]. 兵工学报, 2003. 24(4): 504-508.
- [3] 韩九强. 机器视觉技术及应用[M]. 高等教育出版社, 2009: 3-140.
- [4] 黄权, 周丽娟. F150在间隙检测系统中的应用[J]. 兵工自动化, 2008, 27(12): 74-76.
- [5] 刘伟, 齐晓慧. 基于视觉的机械手臂自主抓物的实现[J]. 兵工自动化, 2008, 27(12): 79-80.
- [6] Langley, F.J. A machine vision board test system[C]. 1988, AUTOTESTCON'88. IEEE International Automatic Testing Conference, Future test. Symposium Proceedings. 65-68.
- [7] 马涛. 双圆弧拟合法在数控内孔曲线磨床加工中的应用[J]. 现代电子技术, 2011, 34(21): 160-162.
- [8] 马鑫, 魏鹏旭, 岳康. 裂缝图像识别与特征参数算法的研究[J]. 科技资讯, 2011(11): 47-48.
- [9] Rafael C. Gonzalez, Richard E Woods. 数字图像处理[M]. 3版. 阮秋琦, 阮宇智, 等, 译. 电子工业出版社, 2010.
- [10] Jun Ji, He li, Shi Jianli, et al. Size Detection of Firebricks Based on Machine Vision Technology[C]. 2010, 2010 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation.