

doi: 10.7690/bgzdh.2014.11.025

基于图像检测的非接触式底火装配找坑方法

赵建抒, 刘锡朋, 舒泽胜

(中国兵器工业第五八研究所弹药自动装药研究应用中心, 四川 绵阳 621000)

摘要: 针对目前国内小口径炮弹接触式底火装配找坑方式易划伤、擦亮底火等缺陷, 提出一种基于图像检测的非接触式找坑方法。以机器视觉技术为基础对待检测底火的特征信息进行提取和处理, 采用图像检测技术完成底火信息的检测, 将图像检测得到的底火数据在控制器内运算处理并引导拧紧机构动作, 实现拧紧爪的非接触自动找坑, 并使用模板匹配检测对视觉系统的特征进行检测。分析结果证明: 该方法拧紧爪定位准确, 找坑过程中不会损伤底火, 满足设计要求, 并已在某小口径炮弹底火拧紧设备中得到应用。

关键词: 图像检测; 底火装配; 非接触式找坑

中图分类号: TJ410.6 **文献标志码:** A

Noncontact Method for Primer Assembly and Finding Holes Based on Image Detection

Zhao Jianshu, Liu Xipeng, Shu Zesheng

(Research & Application Center for Ammunition Automatic Charging & Assembly, No. 58 Research Institute of China Ordnance Industry, Mianyang 621000, China)

Abstract: Aiming at the defects present at today's domestic contact primer assembly and finding holes of minor-caliber shells like easy to scratch and polish primers, put forward a kind of noncontact method for primer assembly and finding holes based on image detection. The method based on machine vision technology, it works like that the system controller first operates the primer data which is detected by the image and then guides the tightening mechanism action to realize non contact to automatically finding holes of the tightening claw. The method has been verified by experimental equipment, confirmed that tightening claw positions accurately and would not damage the primer in the process of finding holes, meet the design requirements. It has been used in a small caliber cannon primer tightening device.

Keywords: image detection; primer assembly; non contact to find holes

0 引言

目前国内在小口径炮弹旋入式底火装配环节使用较多的拧紧设备主要有直接接触底火找坑拧紧设备和上模具拧紧设备 2 种。2 种方式都存在一些无法解决的问题, 直接接触底火找坑方式易造成底火表面划伤, 导致产品废品率较高; 上模具拧紧方式需要人工预上模具, 自动化程度不高, 影响生产效率。上述缺陷严重制约着底火装配工艺的进步和发展^[1]。

近年来, 机器视觉技术已被广泛地应用到各行各业中, 特别是表面质量检测、尺寸测量和各种标志的识别等领域^[2]。笔者借鉴图像检测技术在尺寸测量和定位领域的成功经验, 设计了一种基于图像检测的小口径炮弹底火装配找坑方法, 以解决现行找坑方式存在的问题, 实现底火的无损伤自动找坑。

1 底火特征信息检测

底火特征信息的准确检测是实现非接触式底火

装配自动找坑功能的基础, 本方法采用图像检测技术完成底火信息的检测。根据系统误差分配, 图像检测的误差 $|\delta| \leq 0.76^\circ$ 。通过优化选择机器视觉系统的软件及硬件, 保证图像检测精度满足系统要求^[3]。

1.1 视觉系统特征检测方式的确定

使用机器视觉系统提取和处理待检测底火的特征信息。根据检测原理的不同, 常见图像传感器的特征检测方式包括模板匹配和几何计算 2 种。

1) 模板匹配检测方式。模板是一幅信息已知的图像, 模板匹配就是在待测图像中搜寻目标, 该目标同模板有相同的图像信息, 通过一定的算法辨识待测图像中是否存在目标, 并确定其坐标位置^[4]。

作为图像检测的常用定位方式, 模板匹配在标准工件的定位场合有广泛的应用。该方式要求检测对象(工件表面)有较固定的形状特征: 特征在检测对象上具有唯一性, 相对于工件在位置分布和形状的成像上具有一致性。在基于拧紧坑的底火定位中,

收稿日期: 2014-07-12; 修回日期: 2014-08-16

作者简介: 赵建抒(1990—), 男, 内蒙古人, 满族, 本科, 助理工程师, 从事计算机控制技术研究。

首先在检测面(即底火表面)有 3 个大小形状无较大差异的拧紧坑,不具有唯一性;其次,由于底火的制造工艺原因,同底火及不同底火上的不同拧紧坑之间在形状特征上以及拧紧坑之间的角度分布一致性较差,特征相对于检测工件不具有有一致性,所以该检测方式不适合于底火表面特征信息的检测。

2) 几何计算方式。使用边缘检测技术^[5],对图像的边缘信息进行简单特征提取和几何计算,完成对图像特征信息的检测。小口径炮弹的底火外表面上包括底火环和 3 个底火坑,其边缘信息非常明显,便于算法实现。

该方式首先提取滤波后图像的边缘信息,将 3 个拧紧坑以及底火环内边圆作为斑点(类似缺陷)提取出来;之后通过一定的算法计算出拧紧坑的几何中心点、面积、角度及底火环内边圆心等特征信息。该检测方式从原理上避免了拧紧坑形状一致性差带来的问题,实现了特征点的唯一性。

综上所述,几何计算方式更加适用于对底火特征信息的检测,最终确定该方式作为机器视觉系统的特征检测方式。

1.2 视觉系统构建

机器视觉系统由光源、镜头、相机、图像采集卡、图像分析处理软件、通讯/输入输出单元等组成^[6]。该系统选用了同轴环形 LED 光源,有利于突出待检测底火的凹坑和背景的区别。根据系统对图像检测精度的要求,选用 COGNEX 的 IS5403 视觉传感器。传感器集成有镜头、相机、图像采集卡、图像分析处理软件、通讯/输入输出等单元,不但可以获取图像,还可以通过烧录在其内部的视觉工具对图像进行处理,然后通过以太网通讯,将信息传输给其他智能设备,其结构如图 1 所示。

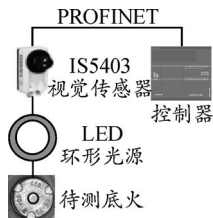


图 1 机器视觉系统结构

使用 IS5403 的调试软件 Insight-explore,可以方便地对图像进行定位、测量等处理。其内部集成了丰富的视觉工具(软件包),包括图像过滤、定位、计算、测量等,不需要用户重新编辑图像处理的算法,只需调用即可。调试软件的使用简单,操作界面与 Excel 相似,如图 2 所示。

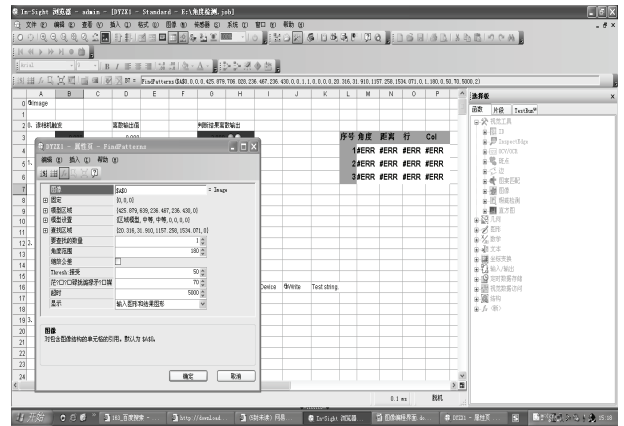


图 2 Insight-explore 操作界面

通过设置调试软件的相关参数,图像检测机构可以得到底火的多种数据。其中,拧紧坑中心与底火中心点连线的长度值、底火中心点的偏移量和最小底火坑的面积等参数,为控制系统对底火可插入性判决提供依据;底火 3 个拧紧坑的角度值,为实现底火拧紧坑的非接触式无损定位提供了设计依据,如图 3 所示。

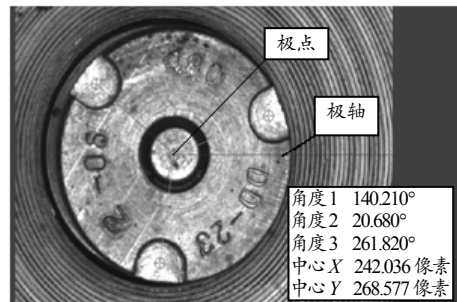


图 3 底火坑角度值检测

在图 3 中,坐标系的极点为底火环内边的圆心,极轴的方向固定(只与摄像头的安装位置有关),构成了一个底火外表面坐标系。各个底火坑的位置信息为其中心点在此极坐标系中的角度值。

2 拧紧爪非接触自动找坑

拧紧机构主要由机架、导向机构、拧紧头、交流伺服电机及减速器和控制系统组成。根据误差分配,选用低背隙减速机和 20 位高精度增量式编码器,就可以保证其控制精度满足系统要求。

为了实现拧紧爪的自动找坑动作,就要将底火坐标系与拧紧机构坐标系关联起来,建立底火坑信息与拧紧机构编码器码值的联系。在拧紧机构上建立拧紧爪极坐标系,如图 4 所示。

图 4 中,极轴方向为拧紧爪圆心与拧紧头 1 中心的连线,拧紧爪定位标志为粘贴在拧紧机构导柱表面上的贴片。对伺服驱动器的电子齿轮比等参数进行设定,使拧紧头每转动 1 圈需要 10 000 个脉冲,

目的是使拧紧头执行误差在满足其限值要求的同时使后续计算简化。通过主控 PLC 的高速计数通道,对拧紧伺服驱动器接收到的脉冲数进行读取,获得拧紧爪运动的位置信息,其原理等同于在拧紧机构中加入 1 个单圈码值为 10 000 的增量式编码器。拧紧爪初次定位时,应先使其自转 1 圈,获得拧紧爪定位标志处的码值,作为拧紧爪的零点码值。

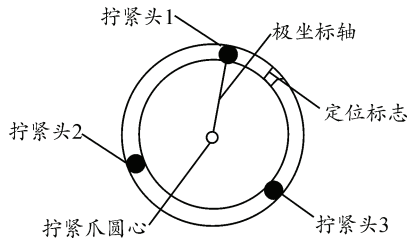


图 4 拧紧爪极坐标系

通过调整设备的机械结构,使得在拧紧机构处,拧紧爪的圆心在底火面上的投影恰好为底火的圆心。此时,就可以建立拧紧爪坐标系与底火坐标系之间的联系,如图 5 所示。

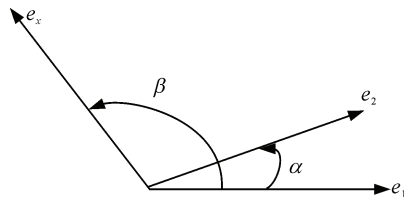


图 5 拧紧爪与底火联合坐标系

图中： e_1 为底火坐标系（图像检测坐标系）的极轴， e_2 为拧紧爪坐标系的极轴， e_x 为某一底火坑的极坐标； α 为 2 个坐标系极轴之间的偏差角； β 为图像检测得到的底火坑 1 的角度值。在拧紧爪坐标系中，底火坑 1 的角度值为 $\beta - \alpha$ 。拧紧爪坐标系中将 360° 分成了 10 000 等份，每 1° 对应的码值为 $k = 10^4 / 360 \approx 27.78$ 。拧紧爪的零点码值已测得，记为 m 。转动拧紧爪，使拧紧爪坐标系中标定极轴方向的拧紧头恰好能够进入底火坑 1 中，转动后的码值记为 n ，此时，图 5 中的拧紧爪坐标系的极轴与底火坑 1 的轴向重合，得到：

$$\alpha = \beta + \frac{m - n}{k} \quad (1)$$

公式 (1) 作为理论上的推导公式，在实际操作中必然会受到各种误差因素的影响。主要有以下 2 种误差：

1) 确定码值 n 时，要转动拧紧伺服使拧紧头按照要求找到相应的底火坑。找坑的准确与否，需要

由人来观察判断，带来人为误差；

2) 底火的一致性差，选用一个底火计算得到的 α 值，对于其他底火可能不适用。

为了减小上述随机误差对 α 值计算的影响，可以采用均值滤波的方法对误差进行抑制。即选用 10 个不同的底火，分别按上述方法进行 α 值的计算，最终的 α 值取这 10 次结果的平均值。当通过上述操作计算得到 α 值后，对公式 (1) 变换得到公式：

$$n = m + k \cdot (\beta - \alpha) \quad (2)$$

其中等式右边的参数均为已知量， n 为拧紧爪动作的目标码值。当拧紧机构连续进行找坑动作时，设 m_1 为前一次拧紧爪执行拧紧动作后的码值， β_0 为当前拧紧爪要进行找坑动作所对应的底火坑的角度值。得到拧紧爪动作的步长 d 计算公式：

$$d = [m + k \cdot (\beta_0 - \alpha) + 10^4 - m_2] \% 10^4 \quad (3)$$

其中 $m_2 = m_1 \% 10^4$ 。

式 (3) 可保证求得的步长值始终为小于 10 000 的正数值，即拧紧爪可以在 1 圈内完成找坑动作。

为了使得拧紧爪在定位的过程中，转动的距离最小，提高拧紧机构的工作效率。充分利用图像检测得底火的 3 个角度值 β_0 、 β_1 、 β_2 ，分别代入公式 (3) 得到 3 个步长值 d_1 、 d_2 、 d_3 。得到：

$$d = \min\{d_1, d_2, d_3\} \quad (4)$$

公式 (4) 中得到的步长 d 即为拧紧爪转动的最优距离。控制器根据步长值引导拧紧机构动作，拧紧爪自动找坑完成。

3 系统工作流程

实验系统正常工作时，当待检底火到位后，控制器 (PLC) 发出触发信号，图像检测启动，并将检测信息传输给控制器。经过控制器内程序的运算处理，对当前底火的可插入性进行判断，可插入时控制器根据图像检测得到的数据引导拧紧爪动作，完成找坑动作，不可插入时控制器发出报警信号并进行剔废操作。工作流程如图 6。

4 方法的试验验证

4.1 模板匹配检测方式适应性实验

使用模板匹配检测作为视觉系统的特征检测方式。测试过程中首先对编号等干扰点进行屏蔽，之后在对阈值和相似度等参数进行优化后，对同一个底火能够实现角度的定位输出^[7]。但在更换工件后，

则会匹配失败，验证了模板匹配检测方式不适用于底火特征信息的检测。检测效果如图 7、8 所示。

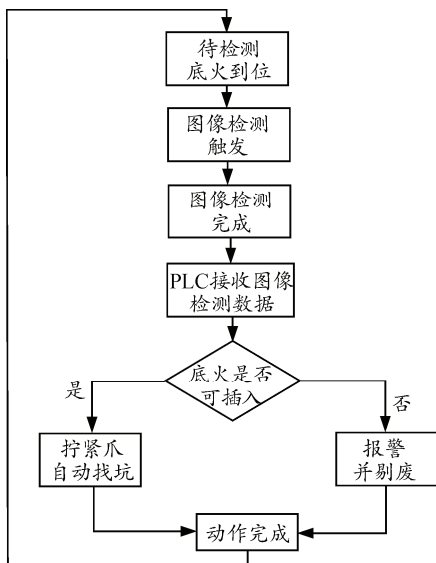


图 6 系统工作流程

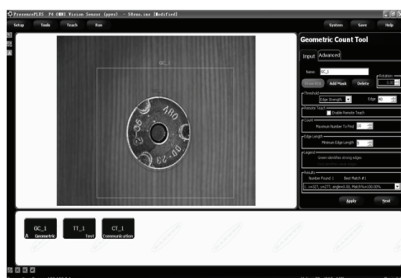


图 7 未更换底火前检测效果



图 8 更换底火后检测效果

4.2 几何计算检测方式适应性实验

使用几何计算检测方式作为视觉系统的特征检测方式。测试方法如下：在实验平台上构建一个基准坐标系，坐标系的原点为待测底火的圆心，该坐标系与图像检测坐标系极点相同，极轴存在固定角度差。随机转动待测底火不同的角度，测量其某个底火坑的实际角度变化值，并与图像检测得到的测量变化值比较，观察其误差是否满足系统要求。通过实验验证了几何计算方式适用于对底火特征信息的检测，且检测精度满足系统要求（偏差 $|\delta| \leq 0.76^\circ$ ）。实验数据如表 1 所示。

表 1 视觉系统检测精度实验测试数据 (°)

序号	图像检测		实际测量		偏差
	角度值	角度变化值	角度值	角度变化值	
1	110.36	—	130.23	—	—
2	110.88	0.52	130.86	0.63	0.11
3	112.09	1.73	131.80	1.57	-0.16
4	113.98	3.62	134.06	3.83	0.21
5	117.11	6.75	137.05	6.82	0.07
6	120.59	10.23	140.31	10.08	-0.15
7	130.94	20.58	150.73	20.50	-0.08
8	143.51	33.15	163.60	33.37	0.22
9	120.06	9.70	139.76	9.53	-0.17
10	122.39	12.03	142.46	12.23	0.20

4.3 视觉系统引导拧紧机构联调实验

选出 20 枚无损伤的底火，依次放入到实验设备中，观察并记录拧紧爪找坑的情况，实验数据如表 2 所示。拧紧爪对所有底火均完成了找坑动作且底火坑边缘无损伤（压痕），实验结果满足设计要求，验证了方法的可行性。

表 2 视觉系统引导拧紧机构联调实验测试结果

底火序号	找坑成功	有无划痕	底火序号	找坑成功	有无划痕
1	是	无	11	是	无
2	是	无	12	是	无
3	是	无	13	是	无
4	是	无	14	是	无
5	是	无	15	是	无
6	是	无	16	是	无
7	是	无	17	是	无
8	是	无	18	是	无
9	是	无	19	是	无
10	是	无	20	是	无

5 结束语

该方法以图像检测技术为基础，实现了小口径炮弹底火装配非接触式自动找坑，不但完美地解决了接触式底火找坑存在的问题，而且更安全可靠、效率更高，并已在某小口径炮弹底火拧紧设备中得到应用。设备连续运转时，拧紧头定位精确，不会划伤擦亮底火，满足设计要求，可以进行推广应用。

参考文献：

- [1] 张方宇. 我国弹药生产技术和装备发展现状及发展对策初探[J]. 兵工自动化, 2008, 17(4): 1-4.
- [2] 何涛. 基于几何特征的机械产品图像测度研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2011.
- [3] 韦宏强. 机器视觉技术在弹药测试设备中的应用研究[D]. 长春: 长春理工大学, 2009.
- [4] 于娜. 工件检测中图像模板匹配的研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2010.
- [5] 张凯丽, 刘辉. 边缘检测技术的发展研究[J]. 昆明理工大学学报, 2000, 25(5): 36-39.
- [6] M.Swain, D.Ballard. Colorindexing[J]. Int.J. Comput. Vision, 1991, 7(1): 11-32.
- [7] 张振辉, 杨国来, 葛建立. 末制导炮弹膛内过载影响因素数值分析[J]. 四川兵工学报, 2012, 33(9): 33-35.