

基于视觉的微马达转子引线自动化装配研究

雷李辉, 朱晓明, 席文明*

(厦门大学 物理与机电工程学院, 福建 厦门 361005)

摘要: 将转子线圈的线头焊接到焊盘上是微马达制造的重要工序, 由于操作对象的特殊性, 线头焊接全部采用人工在显微镜下操作完成, 人工焊接成本高、效率低、产品一致性差。针对这些问题, 提出了一种基于视觉的微马达转子导线自动焊接方法, 利用视觉自适应调整微马达的位姿。另外, 采用气流定位法对转子导线进行定位, 并分析了因位置和姿态调整产生耦合而造成的误差, 提出了解决方案。实验结果表明, 利用气流可以对导线进行精确定位, 基于视觉控制的位置与姿态调整精度分别可以达到 $10\ \mu\text{m}$ 和 1° 。

关键词: 微马达; 视觉; 自动化; 气流定位; 位姿调整

中图分类号: TH39; TH161+.7

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)06-0671-04

Vision based automatic assembly of rotor leads for micro-motors

LEI Li-hui, ZHU Xiao-ming, XI Wen-ming

(School of Physics and Mechanical & Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: In the manufacture of micro-motor, it is an important working procedure to weld the head of coil onto the bonding pad. Due to the particularity of the objects, all the welding working, in present, are completed by human labor under microscope, leading to high cost, low efficiency and poor consistence. Aiming at these problems, a technique about vision based automatic welding was presented, that is, adjusting the position and posture of motor using vision automatically. In addition, the head of coil was positioned by the use of airflow and the error made by the interference between adjustment of position and posture was analyzed and the solution was given finally. The results indicate that the head of coil can be positioned well by airflow and the precision of adjustment of position and posture using vision control reach $10\ \mu\text{m}$ and 1° respectively.

Key words: micro-motor; vision; automation; airflow position; adjustment of position and posture

0 引 言

微纳制造技术使产品不断向微型化方向发展,也使得越来越多的微米和纳米级精度产品不断涌现,产品的微型化使微装配技术越来越具市场竞争力^[1]。据资料显示,微装配产品的平均年增长率达到了 20%,2001 年市场份额达到了 300 亿美元,2005 年达到了 670 亿美元^[2]。微装配产品的市场潜力巨大,但目前缺乏一种可靠性强、成本低、自动化操作的微装配技术。

近几年来,为了适应产品的微型化发展需求,微马达在国内外发展迅猛。激烈的市场竞争加速了微马达

产品的变革,当今世界微马达技术的发展趋势是:①产品的不断微小化、轻量化以及低成本化;②微马达制造的自动化和生产的规模化。因此,为了提高微型市场竞争力,微马达生产制造过程中的装配尤其是自动化装配显得更为重要^[3,4],高精度、强鲁棒性的自动化装配平台受到越来越多企业的青睐^[5]。微马达生产制造过程中,微马达生产的重要环节—微马达转子引线装配全部采用人工操作的方式。由于对象的微小性,引线的柔性,人工在显微镜下的长时间操作会使操作人员产生视觉疲劳,造成操作误差、生产效率不稳定、成品率低,且人工操作对工人的技术熟练程度依赖较高。日趋激烈的

收稿日期:2010-12-03

作者简介:雷李辉(1986-),男,福建宁德人,主要从事机器视觉、微操作与微装配方面的研究。E-mail: lhleiamoy@gmail.com

通信联系人:席文明,男,教授,硕士生导师。E-mail: wmxixi@xmu.edu.cn

竞争环境正迫使世界微马达厂商积极探索降低生产成本的有效方法。因此,实现微马达转子引线的自动化装配已经成为微系统技术和纳米技术的关键。

为了更好地说明该方法的实用性,本研究选用一种圆柱型微马达作为研究对象,其转子外径为 3 mm,引线线径为 27 μm ,主要作为振动马达应用于手机上。微马达自动化装配的任务就是将微马达转子线圈上的引线(电极)焊接到焊盘上。为了克服人工操作存在的问题,本研究采用视觉控制的方法实现自动化,并针对引线柔性的特点,采用气流定位法定位线头。

1 引线定位与焊盘位姿调整

微马达引线自动化装配要完成的任务包括:①引线定位,由于引线是柔性的,并且状态是任意无序的,因此需要定位引线,使引线贴在焊盘上或处于焊盘的正上方,以配合后续的焊接动作;②焊盘位姿调整,由于焊接过程是采用焊枪位置固定的方式,因此需要调整焊盘的位姿,使之处于焊枪的正下方;③焊枪的下压,当完成步骤①和②操作之后,给焊枪一个脉冲使之下压,完成焊接任务。

1.1 引线定位

由于引线是柔性的,很难用机械的方法精确定位。本研究采用气流定位法,即将气流对准引线的根部,以一定大小和方向的气压将引线吹向焊盘,如图 1 所示。

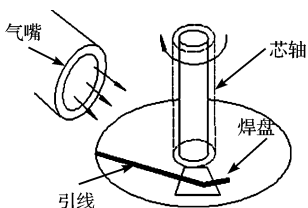


图 1 气流定位

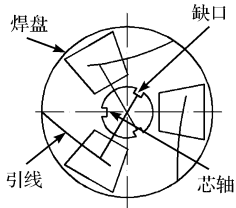


图 2 微马达示意图

1.2 焊盘位姿调整

微马达示意图如图 2 所示,微马达芯轴上的 3 个缺口以及 3 个焊盘都均匀分布,即相邻两个焊盘或缺口间的夹角为 120° 。而且缺口中心、芯轴中心以及焊盘中心在一条直线上。由于焊盘为金属结构,会产生反光,降低了识别效果,而且 3 个焊盘占据的视场较大,导致精度下降。另外,线头的干扰会影响焊盘的识别。因此不直接对焊盘进行识别,而是先找到芯轴缺口,根据缺口与焊盘的对应关系就可以定位焊盘的位置。芯轴的外径为 0.7 mm,通过图像处理技术找到芯轴在视觉空间中的位置,然后根据芯轴缺口的灰度特性找到缺口,再和根据焊枪位置确定的焊盘标准位置

进行比较,算出姿态偏差和位置偏差。这样便可以通过程序做相应的位姿自动调整。

在位姿的调整过程中,存在旋转和移动的耦合问题^[6],即由于旋转台的旋转中心与芯轴的旋转中心不重合使旋转产生相应的位移量,因此旋转一定角度后会产生一定的位置偏差。所以,应该对位姿调整的次序进行控制,即先调整姿态后再调整位置。

1.2.1 误差分析

为了利用视觉识别对象,并进行自动化调整,因此在求得偏差之后不进行机械式调整,而是通过图像进行补偿。首先,本研究通过视觉检测可以很容易地获得旋转台轴心在图像中的坐标,再在旋转台上安装微马达转子,同样,通过图像检测求得微马达芯轴的旋转中心,这样就能求得旋转台轴心和微马达芯轴中心的位置偏差,设为 ΔX 、 ΔY ,偏转角为 α 。若发生顺时针旋转,角度为 β_1 、 β_2 、 β_3 、 β_4 、 β_5 、 $\dots$,则顺时针旋转的位置偏差表示为:

$$\begin{cases} \Delta X' = \Delta X - \cos(\alpha + \sum_{i=1}^n \beta_i) \\ \Delta Y' = \sin(\alpha + \sum_{i=1}^n \beta_i) - \Delta Y \end{cases}, (\beta_0 = 0) \quad (1)$$

若发生逆时针旋转,角度为 γ_1 、 γ_2 、 γ_3 、 γ_4 、 γ_5 、 $\dots$,则逆时针旋转的位置偏差表示为:

$$\begin{cases} \Delta X' = \Delta X - \cos(\alpha - \sum_{i=1}^n \gamma_i) \\ \Delta Y' = \sin(\alpha - \sum_{i=1}^n \gamma_i) - \Delta Y \end{cases}, (\beta_0 = 0) \quad (2)$$

将式(1)和式(2)合并在一起可以用下式表示:

$$\begin{cases} \Delta X' = \Delta X - \cos(\alpha + \sum_{i=1}^n \beta_i - \sum_{i=1}^n \gamma_i) \\ \Delta Y' = \sin(\alpha + \sum_{i=1}^n \beta_i - \sum_{i=1}^n \gamma_i) - \Delta Y \end{cases}, (\beta_0 = 0) \quad (3)$$

式中: $\Delta X'$ 、 $\Delta Y'$ —任意位置的芯轴轴心与标准位置的芯轴轴心的偏差。

这样,以标准位置为基准,每旋转一定的角度,在程序算法中做相应地补偿,控制移动平台做相应地移动,以达到调整位置的目的。

以上方法需要在操作前确定旋转台的旋转中心以及标准位置时的芯轴中心,使得操作复杂、效率较低。为了克服这些不足,以下给出一种自适应微马达位姿自动调整的方法。

1.2.2 自适应位置调整

视觉被广泛应用于各种各样的自动化控制中^[7]。

自适应位置调整是完全利用视觉,通过图像处理进行自适应调整。首先,利用图像处理技术求出焊盘标准位置图像芯轴的轴心坐标,将此轴心作为绝对标准,调整其他任意位置时的轴心,使之回到标准位置。然后,对于任意的图像,用同样的方法可以求取芯轴的轴心坐标。这样,比较任意位置的轴心与标准位置的轴心,就可以求出偏差并在程序中作相应的补偿,将位置调整到标准状态。

2 系统构成

2.1 系统硬件构成

系统的硬件构成如图 3 所示,主要由计算机、X 向平台(M-531. DG,精度 33 nm,德国 PI 公司)、Y 向平台(M-112. 1DG,精度为 7 nm,德国 PI 公司)、旋转台(M-060. DG,精度为 2. 1 μ rad,德国 PI 公司)、光纤冷光源、CCD(UI-1540-M,德国 IDS 公司)和高倍筒镜(NAVI-TAR,美国 Navitar 公司)组成。

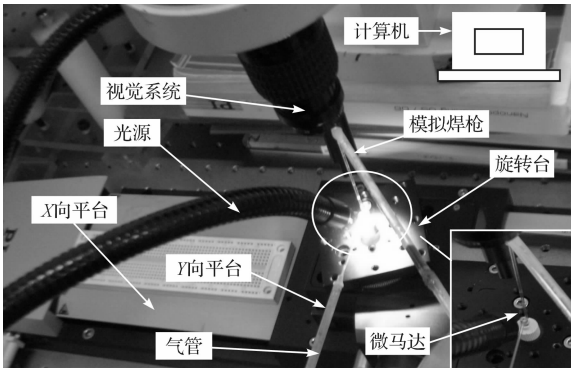


图 3 系统硬件构成

2.2 系统软件构成

与微电子器件的装配相似,微马达的装配也需要一种能够自动识别目标对象并对其进行控制的系统^[8]。该控制系统主要由目标对象识别模块和平台的反馈控制模块构成。为了更加直观地显示装配过程以及便于用户操作,本研究用 Visual C++ 6.0 编写界面,如图 4 所示。软件界面由图像显示区、摄像头控制区、平台控制区和结果显示区构成。图像显示区用于获取微马达的实时图像并进行实时处理,另外还可以更加直观地显示装配过程;摄像头控制区用于控制摄像头,在图像显示区显示实时图像或关闭图像;平台控制区用于控制平台,实现微马达的位姿调整以及焊枪的焊接动作;结果显示区用于显示位姿调整结果以及图像识别结果,直观地显示偏转角以及轴心的 X、Y 轴向偏移量。

整个系统的软件部分是由 Visual C++ 6.0 和 OpenCV 1.0 共同完成。算法流程如图 5 所示,图中左边部分算法是对标准位置图像进行操作,目的是找出标准位置的芯轴中心坐标和缺口中心坐标;右边的算法是对任意位置图像进行操作,找出任意位置的芯轴中心坐标和缺口中心坐标,并与标准位置的相应坐标进行比较,求取偏差。该算法通过模板匹配、阈值分割、形态学操作等图像处理技术^[9-10],利用标准位置图像中提取的模板对任意位置图像进行模板匹配,找到目标对象。



图 4 系统软件构成

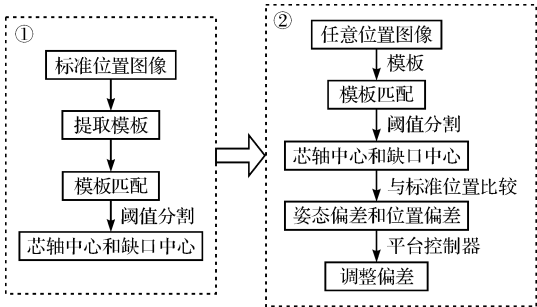


图 5 算法流程图

3 实验与结果

利用以上的硬件和软件系统,本研究完成了气流定位引线以及微马达的焊盘位姿调整。实验结果证明,当气嘴内径为 80 μ m,气流强度为 300 kPa,且气流沿着焊盘的方向对准引线根部时,能够将引线定位到焊盘上。由于微马达部件已经实现了标准化生产,3 个引线在线圈上均匀分布且位置固定,只要将气嘴对准标准位置时的引线根部即可确定气流定位方向。由于引线的根部位置会存在偏差,为了使鲁棒性更好,选择气嘴的内径等于 3 倍的引线外径,为偏差预留空间。气流太小不能达到定位的目的,太大则会将引线吹断。

对于微马达的位姿调整,采用图像处理技术。实验数据显示单个微马达图像处理的时间约为 0.2 s,因此利用图像处理技术能够大大提高装配速度。由于气

嘴是按照标准位置的焊盘位置进行安装,位置固定,先进行位姿调整后定位引线,其结果如图 6 所示。

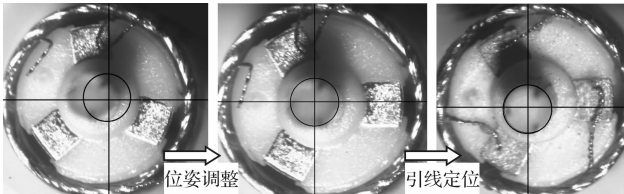


图 6 位姿调整与引线定位结果

另外,为了验证图像处理的误差,旋转台先旋转一定的角度,再通过图像处理求出旋转角度,通过对比获得识别误差,如表 1 所示。同样地,移动平台先移动一定的距离,再利用图像处理求出位置偏差,对比求出识别误差,如表 2 所示^[11]。

表 1 图像处理旋转误差分析

PI 旋转台旋转角度/(°)	图像识别得到的旋转角度/(°)	误差/(°)
5	5.282 5	0.282 5
10	10.906 5	0.906 5
15	15.041 3	0.041 3
20	20.188 7	0.188 7
25	24.066 5	-0.933 5
30	29.893 5	-0.106 5
35	35.483 0	0.483 0
40	40.232 8	0.232 8
45	45.555 9	0.555 9
50	50.260 5	0.260 5
55	55.341 7	0.341 7
60	-59.151 2	-0.848 8*

表 2 图像处理移动误差分析

PI 移动平台移动距离/mm	图像识别得到的调整距离/mm	误差/ μm
-0.1	-0.097 4	3.6
-0.2	-0.199 9	0.1
-0.3	-0.297 3	3.7
-0.4	-0.397 2	3.8
0.1	0.097 4	-3.6
0.2	0.194 8	-5.2
0.3	0.294 7	-5.3
0.4	0.394 6	-5.4

由于微马达的焊盘和缺口位置是均匀分布的,为了减小调整角度以提高效率,可以控制旋转台实现双向移动,这样旋转的角度最大为 60°。即当偏差角大于 0 且小于等于 60°时,控制旋转台顺时针旋转;当偏差角大于 60°时,调整角度为偏差角-120°,这样使得旋转的角度最大不超过 60°。如表 1 中最后一栏,当图像识别获得的偏转角为 60.848 8°(大于 60°)时,控制旋转台旋转-59.151 2°,也就是逆时针旋转 59.151 2°。

从表 1 中可以看出,图像识别的旋转误差最大不超过 $\pm 1^\circ$ 。由于焊盘的面积相对较大, $\pm 1^\circ$ 的偏差不会对实际生产造成影响,满足了精度要求。从表 2 中可以看出,图像识别的移动误差控制在了 $\pm 10\ \mu\text{m}$ 以

内,也满足要求。

4 结束语

针对微马达人工焊接存在的问题,本研究利用视觉完成了微马达转子引线的自动焊接,分析了在位姿调整过程中因轴心不重合产生的位置误差,并提出了调整方法。提出用气流定位法定位引线,取得良好效果。实验结果表明,图像处理的速度快,且误差在可行的范围之内,解决了人工装配生产效率低、操作困难、成本高等问题。

对于未来的工作,希望在单个微马达自动化装配的技术基础上实现自动化批量装配。要实现自动化批量装配,需要增加一个连续进料机构,以保证装配的连续性。后期将设计一套连续进料结构,进行批量装配。

参考文献(References):

[1] ESTANA R, SEYFRIED J, SCHMOECKEL F, et al. Exploring the micro and nano world with cm^3 sized autonomous microrobot[J]. **Industry Robot**,2004,31(2):159-178.

[2] HSU T R. Micro Assembly-a technology on the frontier of new industrial automation[C]//A Keynote Speech Delivered at the 8th International Conference on Automation Technology. Taichung: [s. n.],2005:1-16.

[3] FELDMANN K. Development of micro assembly processes for further miniaturization in electronics production [J]. **Manufacturing Technology**,2010,59(1):1-4.

[4] SULZMANN A. Micromotor Assembly Using High Accurate Optical Vision Feedback for Microrobot Relative 3D Displacement in Submicron Range [C]//IEEE Transduced 197,1997:279-282.

[5] FATIKOW S, SEYFRIED J, FAHLBUSCH S, et al. Axi-ble microrobot-based microassembly station [C]//Proceedings of the 1999 7th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation. Barcelona: [s. n.],2000:135-169.

[6] HERIBAN D, THIEBAULT A, GAUTHIER M, et al. Improving rotation behaviour of robotic structures for micro-assembly [C]//Proceedings of the 4th IEEE Conference on Automation Science and Engineering. Washington: Automation Science and Engineering,2008:983-988.

[7] WANG Han, YING Ying, XU Jian, A vision-based strategy for autonomous lift operation[C]//Proceedings of the 2010 IEEE on Robotics, Automation and Mechatronics. Singapore: [s. n.],2010:385-389.

[8] CIBEJ I,SOLAR B, BAJD T, et al. Robotic Assembly System in Semiconductor Industry [C]//Proceedings of the IEEE Transaction Industry Electronics. Ljubljana: Industrial Electronics,1987:413-416.

[9] 陈胜勇,刘 盛. 基于 OpenCV 的机器视觉技术实现 [M]. 北京:科学出版社,2008:204-224.

[10] 于仕琪,刘瑞祯. 学习 OpenCV:中文版[M]. 北京:清华大学出版社,2009:128-162.

[11] 卢 凡. 基于机器视觉的包装机空头烟支检测技术研究 [J]. 轻工机械,2010,28(2):65-67. [编辑:柴福莉]