

# 全自动金丝球压焊机原理及软件设计

李 浩,戚其丰

(华南理工大学 自动化学院,广东 广州 510640)

**摘要:** 为了提高企业的生产效率,实现金丝球压焊机的全自动运行,提出了压焊机设计原理,从理论上分析了系统的工作过程。重点分析了模板匹配算法,并指出了系统设计过程中必须重点处理好的三个环节,即比例设置、路径设置和焊点矫正。接着利用 UML 统一建模语言画出软件类图模型,分析了软件设计中三层结构之间的相互关系,然后画出了自动运行程序的流程图并指出了压焊机的系统优化设计,最后通过实验证明了方案的可行性。

**关键词:** 压焊机;引线键合;模板匹配;矫正

中图分类号: TP23

文献标识码: B

## Principles of automatic gold wire pressure welding machine and software design

LI Hao, QI Qi Feng

(College of Automation Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** In order to realize the gold wire pressure welding machine automatically work and improve production efficiency, it firstly raises the principle of pressure welding machine's design, and analyzes the system in theory. Then it focuses on the analysis of the template matching method, and points out that the software design process must focus on three important aspects, namely, the setting of proportion, the setting of path and spot correcting. Finally, it draws the software class model with UML(Unified Modeling Language) language and analyzes of the relationship among the three-tier structure in software design. Then it draws the process flow chart of the automatic operation and points out the optimized design of the pressure welding machine. It proves the feasibility of the software with experiments at last.

**Key words:** pressure welding machine; wire bonding; template match; correction

表面安装技术(SMT)是当代最先进的电子安装技术,是在适合表面安装的新一代微小型无引线或引线极短的表面安装元器件(SMC、SMT),通过贴装设备贴装在印制电路板或其他基板的表面,利用波峰焊或再流焊等方法进行焊接。然而目前像全自动粘片机和引线键合机等关键封装设备仍需依赖进口。进口设备通常价格比较昂贵,购买进口设备进行生产必然导致生产成本的大幅度增加,降低了产品的市场竞争力。因此,加快半导体封装设备的国产化进程,打破对发达国家的技术依赖,对于发展我国半导体产业具有非常重要的意义。

全自动金丝球压焊机正是用于半导体芯片引线键合的关键设备。它是集精密机械、自动控制、图像识别、

光学、超声波热压焊接等技术于一体的现代化高技术微电子封装设备。

### 1 压焊机研制方案

在 IC 封装中,芯片和引线框(基板)的连接为电源和信号的分配提供了电路连接。有三种方式实现内部连接:倒装焊、载带自动焊和引线键合。虽然倒装焊的应用增长很快,但是目前 90% 以上的连接方式仍然是引线键合。这主要是基于成本的考虑。事实上,对于一般产品的性能要求,用引线键合已经能够达到,没有必要增加额外的成本。

引线键合(Wire Bonding)是将半导体芯片焊区与电子封装外壳的 I/O 引线或基板上技术布线焊区用金属

细丝连接起来的工艺技术。其原理是采用加热、加压和超声等方式破坏被焊接表面的氧化层和污染,产生塑性变形,使得引线与被焊接表面亲密接触,达到原子间的引力范围并导致界面间原子扩散而形成焊合点<sup>[1]</sup>。

引线键合的技术有两种:球形焊接和楔形焊接。对这两种引线键合技术,基本的步骤包括:形成第一焊点(通常在芯片表面),形成线弧,最后形成第二焊点(通常在引线框架/基板上)。两种键合的不同之处在于:球形焊接中在每次焊接循环的开始会形成一个焊球,然后把这个球焊接到焊盘上形成第一焊点;而楔形焊接则是将引线在压力和超声能量下直接焊接到芯片的焊盘上<sup>[2]</sup>。球形焊接和楔形焊接的相关技术参数如表1所示。

表1 球形焊接和楔形焊接技术参数

焊接方式	球形焊接	球形焊接
焊线原理	热压焊、热超声焊	热压焊、热超声焊
焊线工具	毛细管劈刀	毛细管劈刀
引线	金	金
焊盘	铝、金	铝、金
速度	10 线/s	10 线/s

全自动金丝球压焊机的设计方案如图1所示。



图1 压焊机结构原理图

工控机是整个系统运算和控制的核心,它根据图像采集卡采集到的图像,首先采用中值滤波,去掉图像中的噪声,然后进行模板匹配运算,寻找图像中的目标位置,计算出目标位置到窗口中心点的距离,再向运动控制卡发出一条相对位移指令,将目标位置移动到中心点,并记下此时的电机位置。

全部位置记录完以后,再将芯片准确移动到焊头下面,然后给运动控制卡的I/O口发出启动焊接信号,根据之前记录的电机位置,按照焊接的顺序逐次移动 $x-y$ 控制平台,直到焊接完一块芯片。然后给运动控制卡的另外一个I/O口发出进片信号,启动进片,为下一块芯片的焊接作准备。

在进行模板匹配运算的时候,由于芯片在制造过程中有一些变形,或者在输送的过程中受到环境的污染,导致芯片表面的图像比较模糊,这样模板匹配运算后得

到的匹配度就很低,无法准确定位到芯片的位置,导致不能正常的焊接。因此,为了节约时间,同时避免对金丝不必要的浪费,遇到这种情况时,直接进片即可。

## 2 压焊机工作原理

### 2.1 模板匹配

设原始图像为 $I$ ,其宽度为 $W$ ,高度为 $H$ ,模板图像为 $T$ ,其宽度为 $w$ ,高度为 $h$ 。将模板 $T$ 在原始图像中 $I$ 遍历,对于 $I$ 中的像素点 $(x,y)$ ,将模板的左上角放在此处,模板此时与图像 $I$ 中被模板覆盖住的图像的相关系数 $R(x,y)$ 按(1)式计算。

$$R(x,y) = \sum_{y'=0}^{h-1} \sum_{x'=0}^{w-1} (T(x',y') - \bar{T}) \cdot (I(x+x',y+y') - \overline{I(x,y)}) \quad (1)$$

上式中, $\bar{T}$ 是模板像素的平均灰度值, $\overline{I(x,y)}$ 是模板左上角位于原始图像 $I$ 的 $(x,y)$ 像素点时, $I$ 中被模板覆盖的像素点的平均灰度值。

相关系数按照式(2)进行归一化处理。

$$\tilde{R}(x,y) = \frac{R(x,y)}{\sqrt{\sum_{y'=0}^{h-1} \sum_{x'=0}^{w-1} (T(x',y') - \bar{T})^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\sum_{y'=0}^{h-1} \sum_{x'=0}^{w-1} (I(x+x',y+y') - \overline{I(x,y)})^2}}} \quad (2)$$

$\tilde{R}(x,y)$ 即为模板 $T$ 与图像 $I$ 在像素点 $(x,y)$ 的相似度,它的值介于0到1之间,越大表明匹配度越高。

模板 $T$ 在 $I$ 中遍历完以后,生成图像 $R$ , $R$ 图像宽度为 $(W-w+1)$ ,高度为 $(H-h+1)$ 。其灰度值最大点(即图像最亮点)的坐标就是与模板匹配度最高的图像的左上角在图像 $I$ 中的坐标。

图2为原始图像 $I$ ,图3为模板 $T$ ,模板匹配后生成的图像 $R$ 如图4所示。

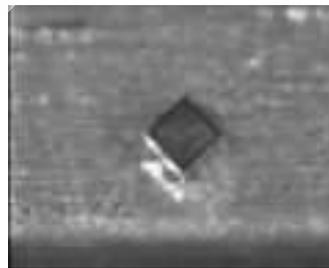


图2 原始图像 I



图3 模板 T

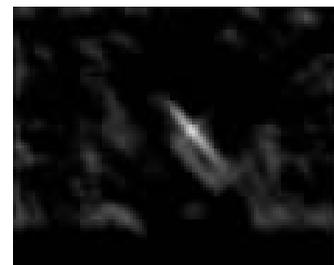


图4 模板匹配后生成图像 R

## 2.2 比例设置

CCD 摄像头的位置固定以后,当芯片在  $x-y$  运动平台上移动一定的距离时,其图像相应地会在图像区域中移动一定的像素。此时就存在脉冲/像素比,它是后面自动运行时调整芯片位置的重要参数。

设初始时刻芯片左下角在图像区域中的位置是  $(X_1, Y_1)$ ,然后直接给运动控制卡发出进行插补运动的命令,使  $x-y$  平台从  $(X_{ini}, Y_{ini})$  运动到  $(X_{des}, Y_{des})$ ,再运用模板匹配找到芯片左下角在图像区域中的坐标  $(X_2, Y_2)$ 。根据公式(3)和公式(4)即可得到系统的  $X$  和  $Y$  方向比例。

$$X_{scale} = (X_{des} - X_{ini}) / (X_2 - X_1) \quad (3)$$

$$Y_{scale} = (Y_{des} - Y_{ini}) / (Y_2 - Y_1) \quad (4)$$

上式中  $X_{scale}$  和  $Y_{scale}$  表示  $X$  和  $Y$  方向比例,单位为脉冲/像素。

## 2.3 路径设置

全自动金丝球压焊机目前面对的具体对象是采用 TO-92 封装的三极管芯片,将芯片上的两个焊点与两根管脚焊接起来。因此路径设置主要是记录在移动  $x-y$  运动控制平台前后,芯片的不同位置位于图像区域中时的电机位置 MotoX、MotoY,用作自动运行时模板匹配时的模板 TmpImage 及模板矩形框的位置 MRect,还有焊点相对于模板矩形框左上角的位置 RelativeX 和 RelativeY。

设计中将这些参数作为单独的一个类 Path 保存起来,在自动运行时直接调用这些参数即可。

## 2.4 焊点矫正

焊点矫正是针对由光学镜头所标示的位置与实际劈刀接触工作表面的  $x$  轴与  $y$  轴打点位置的补偿。此项补偿确保镜头所看到的影像中心点与实际劈刀所接触物体表面的位置是同一个点。

由于摄像头所拍摄到的图像不是正处于焊头正下方,因此焊点矫正过程为:先在物体表面上打一点,并记下此时  $x-y$  工作台的位置  $(X_0, Y_0)$ ,然后移动  $x-y$  工作台,直到实际打出的点进入图像区域(不一定要移动到图像中心点),再次记下  $x-y$  工作台的当前位置  $(X_1, Y_1)$ ,并在图像上实际打出点的位置画一个点,计算出这一点与图像中心点的偏移量  $X_{offset}$  和  $Y_{offset}$ 。最后根据式(5)和(6)计算出镜头所标示的位置与实际劈刀接触工作表面的  $x$  轴与  $y$  轴的打点位置的实际偏差  $\Delta X$  和  $\Delta Y$ 。

$$\Delta X = X_0 - X_1 + X_{offset} \cdot X_{scale} \quad (5)$$

$$\Delta Y = Y_0 - Y_1 + Y_{offset} \cdot Y_{scale} \quad (6)$$

压焊机在长时间的运行过程当中,不可避免地存在着机械抖动,抖动使得摄像头和焊头的相对位置发生变化,从而改变了镜头中心位置与劈刀所接触位置之间的偏移量,此时就需要重新进行焊点矫正,直到找到准确的偏移量为止。

## 3 压焊机软件设计

软件模型图是进行软件开发的基础,它对团队的集

体开发提供了统一的标准,为团队的合作开发和相互之间的交流提供了便利。本软件采用 UML 统一建模语言来编写软件模型图。

统一建模语言 UML(Unified Modeling Language)是用来对软件密集系统进行可视化建模的一种语言,是为面向对象开发系统的产品进行说明、可视化和编制文档的一种标准语言,是一种定义良好、易于表达、功能强大且普遍适用的建模语言。它溶入了软件工程领域的新思想、新方法和新技术。它的作用域不限于支持面向对象的分析与设计,还支持从需求分析开始的软件开发的全过程。最常用的是建立软件系统的类图模型。

类图描述系统中类的静态结构,不仅定义系统中的类,表示类之间的联系如关联、依赖、聚合等,也包括类的内部结构(类的属性和操作)。类图描述的是一种静态关系,在系统的整个生命周期都是有效的。

本软件采用三级结构开发,第一级包括 Motor 类、Paint 类、Camera 类和 Arithmetic 类;第二级包括 Proportion 类、Path 类和 Correct 类;第三级为 Automatic 类。8 个类之间的相互依赖关系如图 5 所示。

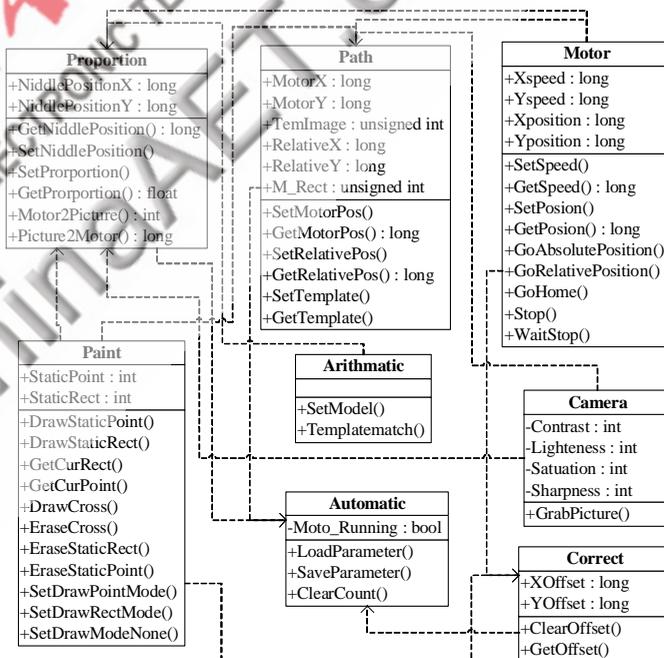


图 5 软件类图模型

其中 Motor 类主要是封装了运动控制卡的设置和读取速度、位置,直线运动,插补运动以及 I/O 口控制打点、进片等函数;Paint 类则主要包含画点、框、十字架以及擦除点、线、框等函数;Camera 类主要包含图像的亮度、灰度、饱和度、对比度的调节,以改善图像质量,还包括匹配度阈值的调节;Arithmetic 类则包含模板设置和几种典型的模板匹配算法等。

Proportion 类主要包含  $x$  和  $y$  方向比例以及电机距离转化为图像距离函数和图像距离转化为电机距离函

数等;Path 类主要包含电机位置、偏移量、模板图像和模板框大小等;Correct 类包含镜头和劈刀位置的偏移量等。第二级的 3 个类主要依赖于第一级的 4 个类。

第三级为 Automatic 类,它是在第二级的基础上实现自动运行的,它包括记录焊接成功数,读取和保存各种参数等函数。

实现自动运行的程序代码流程图如下图 6 所示。

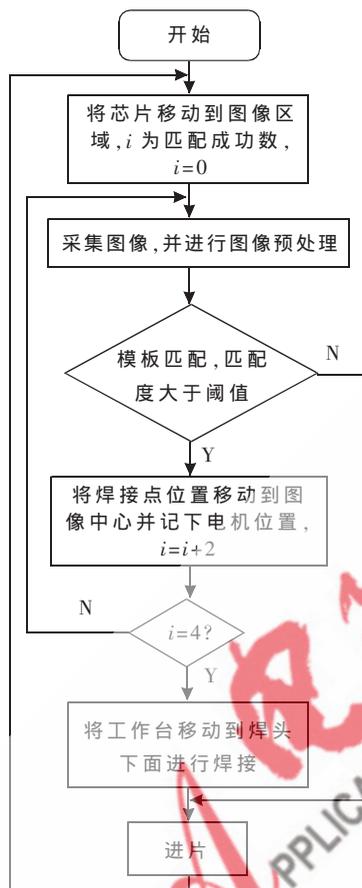


图 6 自动运行流程图

## 4 系统优化设计

### 4.1 控制第一焊点可靠性

影响第一键合点可靠性的因素有很多,在诸多因素中,焊球与金属线的直径比对第一焊点的键合质量影响最大、最为直观,起着决定性的作用。通过调整键合工艺参数,即超声波功率和压力、时间、温度等,以满足焊球与金属线的直径比为 2.5~5 倍的要求,并使焊球与芯片电极达到共融的理想结果。为使焊球与金属线的直径比满足 2.5~5 倍的要求,金属线直径的选择须考虑芯片电极的大小。

### 4.2 提高第二焊点可靠性

球形键合第二焊点为楔形键合,其可靠性一般较第一焊点的球形键合低,在封装应力的作用下,更容易出现开焊、脱键现象。为了提高器件的可靠性,工艺中采用加固的方法。第二焊点可以用金属球加固,一般为自动

机台所采用;也有用银浆加固,一般以手工作业为主。这两种加固方法,都可以提高第二焊点的可靠性,尤其经过金属球加固的第二焊点,其可靠性将有很大提升,在要求高质量引线键合的生产线中应用普遍<sup>[4]</sup>。本系统采用金属球加固的方法加固第二焊点。

### 4.3 照明的优化设计

照明是影响机器视觉系统输入的重要因素,因为它直接影响输入数据的质量和至少 30% 的应用效果。

本系统的照明由同轴照明和侧光照明两部分组成。在同轴照明中,光线是通过光学部件的物镜来照亮键合区域。同轴光从引线框架或芯片表面返回到物镜,因此对倾斜的表面非常敏感<sup>[5]</sup>。其原理如图 7 所示。



图 7 同轴照明原理

同轴光照明,对于框架和引脚对准来说,达到最大值,因此它对框架这种平坦均匀的图形能产生对比度;对于芯片对准来说,达到最小值,因此它仅生成最基本的照明。

侧光装在光学部件的边上,对于芯片对准而言,达到最大值,因此它不受芯片倾斜的影响,在芯片图像上产生最大对比度;对引线框架和引脚对准达到最小值。

全自动金丝球压焊机运用机器视觉和模板匹配算法,在设置好系统的脉冲/像素比、路径以及摄像头与焊头之间的偏移量的基础上,成功实现了三极管芯片的引线键合。

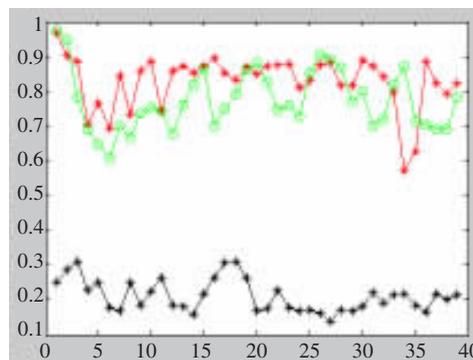


图 8 不同芯片的匹配度值

如图 8 所示,这里采用三组模板样本和芯片做模板匹配,前面的几块芯片的匹配度在 0.9 以上,后面的芯片匹配度则稳定在 0.55~0.9 之间,而无芯片时匹配度则都在 0.35 以下,因此,可以将匹配度阈值设置在 0.5。

实践证明,它能够很好地区分有无芯片适合焊接,焊接成功率在 96% 以上。与手动和半自动压焊机相比,它大大提高了企业的生产效率,降低了企业的生产成本,使企业逐步摆脱对国外昂贵的进口设备的依赖性,提高了企业的市场竞争力。

引线键合作为半导体封装后道工序中的关键,在未来相当长一段时间仍然将是封装内部连接的主流方式。只要对程序稍作修改,全自动金丝球压焊机还可应用在其他半导体芯片的引线键合上,它是完全具有自主知识产权的新型封装设备。

#### 参考文献

- [1] 吴懿平,丁汉.电子制造技术基础[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [2] 黄玉财,程秀兰,蔡俊荣.集成电路封装中的引线键合技术[J].电子与封装,2006,6(7):16-20.
- [3] 易辉,刘晚斌,宫晨.全自动引线键合机矫正系统设计与实现[J].电子工业专用设备,2005,131:30-33.
- [4] 吕磊.引线键合工艺介绍及质量检验[J].电子工业专用设备,2008,158:53-60.
- [5] 杨志高.智能 IC 引线键合图像识别系统的研究[D].广州:广东工业大学,2005.

(收稿日期:2009-03-15)

电子技术应用  
APPLICATION OF ELECTRONIC TECHNIQUE  
www.chinaAET.com