

摘要

引线键合技术是现代微电子封装中常用的一种技术。随着芯片集成度的增加和尺寸的减小,芯片引脚间距越来越细密化,微电子封装的精度要求越来越高。对于引线键合产品的质量检测,要求日益严格,难度日益增大,低成本、易操作、高精度、以及良好的实时在线性将是其发展方向。论文对引线键合产品的失效形式及其成因进行了分析与归纳,研究并实现了基于数据采集卡的统计性检测方法,以及基于机器视觉的在线检测方法。

论文研究了引线键合产品的失效形式及其成因,把键合产品的常见失效形式归纳为键合操作断线失效、外形失效和可靠性失效等几种,并重点讨论了键合点根部裂纹与键合强度、键合点 Au-Al 金属间化合物、以及影响键合点可靠性的因素。同时,论文也介绍了几种常规的产品检测方法,如电特性检测法、机械检测法及视觉检测法。

基于数据采集卡的统计性检测方法,是运用数据采集卡对超声键合中超声发生器的状态进行采集与分析,进而判断产品焊点有无断线。论文对其检测原理进行了深入的探讨,重点阐述了所采集数据的处理与分析,以及检测标准的建立。最后,论文还阐述了该实时检测系统的硬件实现与软件模块设计。

基于机器视觉的在线检测方法,完全借助于引线键合机原有的硬件,对采集到的产品焊点图像进行处理与分析,进而检测产品焊点的位置偏移、断线和线尾过长等缺陷。论文深入研究了该检测方法的原理,重点阐述了其关键图像处理技术,包括图像预处理、模板匹配、以及图像阈值与分割等。最后,论文还介绍了该在线检测系统的软硬件实现。试验证明,该方法能够很好满足实际生产的需要。

关键词: 引线键合 质量检测 数据采集 机器视觉 图像处理

ABSTRACT

Wire bonding today is used throughout the microelectronics industry as a means of interconnecting the chips, substrates and output pins. As ICs continue to become more integrated and minimum feature sizes keep shrinking, the need for higher accuracy in fine pitch interconnect applications has become more important than ever. To inspect these wire bonds, the standards are stricter and the hardness is increasing. So, lower cost, simpler operation, higher accuracy and the ability for real time and on-line inspection will be the future research directions. In this dissertation, the formation and causes of wire bonds' invalidation are analyzed and classified, and two kinds of available methods of bonds inspection are researched and implemented. The one is a statistical method based on the data acquisition board, and the other is an on-line inspection method based on the machine vision.

In this dissertation, the formation and causes of wire bonds' invalidation are researched and classified, which are divided into three groups, the wire-loss invalidation, the form invalidation and the performance invalidation. Besides, some theses including the metallurgical cracks in the heel and the bonds strength, the intermetallic formation in gold-aluminum system, and those factors that cause the bonds' invalidation are discussed. At the same time, this paper also discusses some general methods of bonds inspection, such as electrical testing, mechanical testing and visual inspection.

The statistical method of bonds inspection based on the data acquisition board is proposed. This method acquires and analyzes the ultrasonic dynamic signals in the process of ultrasonic wire bonding to judge whether the bonds have wire or not. In this dissertation, the theory of bonds inspection is thoroughly discussed, the process of acquiring and analyzing the ultrasonic dynamic signals and the foundation of inspection standard are emphasized. Besides, the hardware construction of this method and its software module design are introduced in detail.

The on-line inspection based on machine vision is emphasized here, which completely utilizes the existing hardware of Wire Bonder. These bonds images are acquired and processed, which are used to find these bonds' invalidation, such as incorrect position,


华中科技大学硕士学位论文

wire-loss, overlong pigtail et al. In this dissertation, the theory of bonds inspection is thoroughly discussed, the key techniques of image processing including image enhancement, model matching, image thresholding and segmentation are emphasized. Besides, the hardware and software implementation of the above mentioned method is introduced in detail. Experimental results testify that this method is convenient and performable.

Keywords: Wire Bonding Quality Inspection Data Acquisition Machine Vision
Image Processing

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除文中已经标明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到，本声明的法律结果由本人承担。


学位论文作者签名：
日期：2004年4月15日

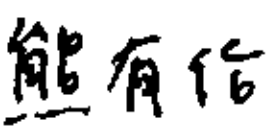
学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权华中科技大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

本论文属于 保密口，在_____年解密后适用本授权书。
 不保密口

(请在以上方框内打“√”)

学位论文作者签名：
日期：2004年4月15日

指导教师签名：
日期：2004年4月19日

1 绪 论

1.1 课题来源

本学位论文得到以下项目的联合资助：

- 国家重点基础研究发展计划（973）项目“极限制制造中的混合约束数字建模与产品缺陷诊断机理”。（批准号：2003CB716207）
- 国家自然科学基金“十五”重大项目“先进电子制造中的重要科学技术问题研究”。（批准号：50390060）
- 本实验室与深圳商巨自动化有限公司的合作项目“高性能全自动 IC 引线键合机的研制”。

1.2 相关技术与研究现状

电子化、数字化的浪潮推动了社会经济的飞速发展，世界范围的竞争日益激烈。同时，社会经济的发展也对电子制造产业提出了更加严格的要求，赋予了更加严峻的考验。作为电子制造行业中非常重要的一部分，半导体封装行业，也被赋予了越来越高的要求和期望。一直以来，半导体封装技术都是学术领域与工业领域研究的重点和热点。尤其是近几年，半导体封装技术向高密度、高速度、高可靠性方向持续发展，一些实现半导体封装高速度、高可靠性的关键技术正呼之欲出。

1.2.1 引线键合技术

微电子封装^[1-3]是将十万乃至数百万个半导体元件（即集成电路芯片）组装成一个紧凑的封装体，由外界提供电源，并与外界进行信息交流。它已经历了三个发展阶段：第一阶段为上世纪 80 年代以前，封装的主体技术是针脚插装；第二阶段是从上世纪 80 年代中期开始，表面贴装技术成为最热门的组装技术，改变了传统的 PTH 插装形式，通过微细的引线将集成电路芯片贴装到基板上，大大提高了集成电路的特性，而且自动化程度也得到了很大的提高；第三阶段为上世纪 90 年代，随着器件封装尺寸的进一步小型化，出现了许多新的封装技术和封装形式，其中最具有代表性的技术有球栅阵

列、倒装芯片和多芯片组件等，这些新技术大多采用了面阵引脚，封装密度大为提高，在此基础上，还出现了芯片规模封装和芯片直接倒装贴装技术。这些新型封装都可以通过引线键合、载带自动键合和合金焊料键合等键合技术来实现高密度、高可靠性封装。面阵型芯片键合可以通过焊料焊凸键合、微型焊凸键合和其它新技术进行；周边型芯片键合可以通过引线键合和各种载带自动键合技术进行。

引线键合技术是用金属丝将集成电路芯片上的电极引线与集成电路底座外引线连接在一起的过程。采用金属丝进行引线键合的原理^[4]是，当被焊的金丝或硅铝丝和焊接部位的金属化焊接面紧密接触时，通过劈刀施以一定的压力，再通过以瞬时低电压的大脉冲电流，使劈刀端头加热至所需的温度而实现引线和焊接面的局部发热，从而使接触部位的金属发生塑性变形，并破坏了接触界面的氧化层，达到两种金属接触到接近原子之间引力范围，使原子间互相扩散，促使两种金属表面产生弹性嵌合，这样就形成了金属引线与金属化焊接面的连接。

用金属丝将集成电路芯片上的电极引线与集成电路底座外引线连接在一起的过程，通常采用热压、超声和热超声三种方法进行^[5]。也就是说，根据外部能量的提供方式，半导体器件和微电子电路的引线键合有以下三种方式：

其一，热压键合（THERMCOMPRESSION）。热压键合法的机制是低温扩散和塑性流动(Plastic Flow)的结合，使原子发生接触，导致固体扩散键合。有人曾经描述过，承受压力的部位，在一定的时间、温度和压力的周期中，接触的表面就会发生塑性变形(Plastic Deformation)和扩散。塑性变形是破坏任何接触表面所必需的，这样才能使金属的表面之间融合。在键合中，焊丝的变形就是塑性流动。该方法主要用于金丝键合。

其二，超声键合（ULTRASONIC）。焊丝超声键合是塑性流动与摩擦的结合。通过石英晶体或磁力控制，把摩擦的动作传送到一个金属传感器上。当石英晶体上通电时，金属传感器就会伸延；当断开电压时，传感器就会相应收缩。这些动作通过超声发生器发生，振幅一般在4~5个微米。在传感器的末端装上焊具，当焊具随着传感器伸缩前后振动时，焊丝就在键合点上摩擦，通过由上而下的压力发生塑性变形。大部分塑性变形在键合点承受超声能后发生，压力所致的塑变只是极小的一部分，这是因为超声波在键合点上产生作用时，键合点的硬度就会变弱，使同样的压力产生较大的塑变。该键合方法可用金丝或铝丝键合。

其三，热超声键合（THERMOSONIC）。热超声键合法是热压和超声键合两者的结合。它是通过对热量，焊接压力，超声功率以及焊接时间的科学控制来完成键合的。

华中科技大学硕士学位论文

其只适用于金丝键合。

这三种键合方式的工艺参数比较如表 1-1 所示^[6]；其各自的利与弊如表 1-2 所示^[5]。

表 1-1 三种引线键合工艺比较

键合工艺	键合压力	键合温度 (°C)	超声波能量	适用引线材料	适用焊盘材料
热压	高	300~500	无	Au	Al、Au
超声波	低	25	有	Au、Al	Al、Au
热超声	低	100~150	有	Au	Al、Au

表 1-2 三种引线键合的利与弊

	利	弊
热压键合	<ol style="list-style-type: none"> 1. 控制方法简单 2. 键合材料(金丝)不会脆裂 3. 键合方向不受限制(指球焊) 4. 可键合比较粗糙的表面和不易氧化的材料 5. 可键合易碎而不宜使用超声源的器件 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 对键合表面的清洁度要求较高 2. 会加速形成金属间隔层 3. 使用高温(一般高于 300°C)会影响器件质量 4. 加快球焊焊具的磨损
超声键合	<ol style="list-style-type: none"> 1. 对键合表面的清洁度要求较低 2. 无虚焊 3. 无金属间隔层问题 4. 只需较低的室内温度 5. 焊点小, 易补焊 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 控制方法较复杂 2. 键合四周, 特别是压焊丝末端易脆裂 3. 键合表面光滑度要求较高 4. 键合方法单一, 由前向后
热超声键合	<ol style="list-style-type: none"> 1. 所需温度较热压键合低 2. 可键合不能承受高温的器件 3. 能延缓金属间隔层的形成 4. 键合速度快 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 控制方法复杂, 需调整热、压力、时间、功率等 2. 在一定高温(一般在 150~175°C)时, 会发生虚焊及金属间隔层 3. 键合表面清洁度要求较高

另外, 引线键合又有两种基本形式: 球键合与楔键合。前者常采用热压键合和热超声键合, 其焊具为劈刀 (CAPILLARY); 而后者一般为超声键合, 其焊具为楔 (WEDGE)。目前有 93% 的半导体封装采用球键合工艺, 5% 采用楔键合工艺。其中最

为广泛采用的是热超声金丝球键合，它是速度最快的引线键合法，现在的速度能达到每秒 10 根线，且不受方向的限制。而铝丝超声键合只能单向键合，须转动焊具或工件，且速度一般为每秒 4 根线。

楔键合一般利用超声波能量，使金属丝与铝电极在常温下直接键合。由于键合工具呈楔形，故又称为楔压焊。其原理是：当劈刀加超声功率时，劈刀产生机械运动，在负载的作用下，超声能量被金属丝吸收，使金属丝发生流变，并破坏工件表面氧化层，暴露出洁净的表面，在压力作用下很容易相互粘合而完成冷焊。楔键合工艺既适用于 Au 丝，也适用于 Al 丝，二者的区别在于 Al 丝采用室温下的超声波键合，而 Au 丝采用 150℃ 下的热超声键合。楔键合的一个主要优点是适用于精细尺寸，如 50 μm 以下的焊盘间距。但由于键合工具的旋转运动，其总体速度低于热超声球键合。最常见的楔键合工艺是 Al 丝超声波键合，其成本和键合温度较低。而 Au 丝楔键合的主要优点是键合后不需要密闭封装，由于楔键合形成的焊点小于球键合，特别适用于微波器件。

对于球键合工艺，金属丝须穿过空心劈刀，用一放电系统产生电火花以熔化金属丝在劈刀外的伸出部分，然后在表面张力作用下熔融金属凝固形成标准的球形^[7]。键合过程中，通过劈刀向金属球施加压力，同时促进引线金属和下面的芯片电极金属发生塑性变形和原子间互扩散，并完成第一次键合。然后劈刀运动到第二个键合位置，通过劈刀外壁对金属线施加压力以楔焊的方式完成第二次键合。

引线键合技术在不断的向前发展。如今，采用 5mm 长度的引线，每个封装的引线数多达 500 条，对高速度运行的器件，包含小于 50 μm 间距铜焊盘的短铜引线封装设计将继续有助于在高档次封装产品市场同倒装芯片封装产品竞争。超细间距球形键合是目前生产中正在寻找新途径的一种技术。由于间距将会减小到 60 μm 以下，键合引线直径必须减小到 $\phi 25\mu\text{m}$ 以下。这就极大的增加了芯片封装的难度。

引线键合设备的市场占用率也一直居高不下。按 VLSI 研究公司的预测，键合设备的年销售额在整个组装及封装设备年销售额中所占的份额接近 50%，照此发展，今后几年全球键合设备的年销售收入至少在 10 亿美元以上，增长率在 10% 以上，市场前景良好。今后一段时期内，芯片键合设备仍然是以金、铝引线键合设备为主，倒装芯片键合设备为辅，实现超精细间距、多引脚、高运行速度、低制作成本的微电子封装。芯片键合设备在不断提高精度的同时，提高自动化程度，采用模块式设计，实现多功能用途，提高生产效率，降低生产成本。随着铜金属化工工艺的不断推进，铜丝键合设备将成为超细间距封装的主流键合技术。铜丝球与传统的铝焊盘键合，不仅降低了生产成本，而且对高成品率、细间距封装提供了更坚固、刚性更好的引线。铜丝楔形

焊和球焊与铜金属化圆片结合将是最细间距封装的有效途径^[8]。

1.2.2 键合产品检测技术

引线键合技术正在受到倒装芯片等新技术的竞争与威胁，但是，引线键合技术有着非同一般的稳定性，其引线键合设备长期以来占据着国内外的芯片封装市场，尤其在亚非地区，很大数量的芯片封装，还是靠引线键合机器来完成。值得注意的是，芯片封装只是半导体生产的中间环节，大批量的芯片封装需要严格的质量保证，以防止不合格品流通到后续工序进而抬高产品的生产成本。因此，引线键合产品的质量检测将有着非常重大的意义。

在国内，由于劳动力成本的低廉，很多芯片封装的厂家还在应用半自动引线键合机，甚至手动引线键合机，其相应的产品检测也只是简单的人工视觉检测加电特性检测。不管怎样，全自动引线键合机才能满足自动化生产的需要，也占据着国内外市场的主体地位，其相应的产品检测技术的研究才是大势所趋。

引线键合的产品，根据需求和环境的不同，其键合点可用以下的几种方式来进行检测和评估：电特性检测法、机械检测法和视觉检测法^[9]。

电特性检测法是一种手工检测方式，用来检测产品的电路是否连通，以及有没有短路现象的出现。机械检测法着重于测试键合点的焊接力度，一般有分为破坏性引线键合拉力试验和非破坏性引线键合拉力试验两种，对于球形焊点还有剪切力试验。机械检测法操作起来比较麻烦，和电特性检测法一样，一般只用于产品的抽检。

视觉检测法就是应用光学显微镜、电子显微镜、或者其他的分析仪器来发现不合格的键合点，一般又分为人工视觉检测和自动视觉检测两种。该方法最主要是根据键合点的外貌特征来工作。一般说来，自动视觉检测法的检测速度比较快，可以进行产品的实时在线检测。

电子工业不断发展，其相应生产的自动化程度越来越高。对于用于抽检的电特性检测法，机械检测法，以及人工视觉检测法，越来越满足不了自动化发展的需要。寻求一些低成本、易操作、高精度、以及良好的实时在线性的产品质量检测方法将是其发展的趋势，把机器视觉应用到电子工业上，比如发展自动视觉检测方法，扩大其检测范围，提高其检测精度，可以很好的适应生产的需要。

将机器视觉应用到工业检测上，国内外已经做了大量的工作，如生产线上零件状态的检测^[10,11]，车身三维尺寸的检测^[12]，电子接插件的质量评估^[13]等，应用的最多的还是印刷电路板（PCB）^[14-22]和 IC 芯片管脚^[23-25]的质量检测。当然，对引线键合产品

进行视觉检测，也有人已经尝试过。Khotanzad A.等人提出了球邦焊点（Ball Bonds）的视觉检测方法^[26]，Zhang W.等人也研究了 Wire Bonding 中焊点高度的检测方法^[27]，这些方法需要特制的结构光源获取 3-D 图像进行处理，光源要求较高。Sreenivasan K. K.等人提出了应用 2-D 图像来检测引线键合中焊点的形状和线尾的信息^[28]，他们用黑色像素组成的矩形小块在二值化图像中匹配 Bonds 图形，并用椭圆来模拟被匹配的 Bonds 边缘。该方法中矩形小块的选择和椭圆的获取操作麻烦，匹配精度也得不到保证，不适合在键合机器上进行自动检测。国内卢朝阳等人提出的检测方法^[29]可以分析 Bonds 参数，但需用放大 100 倍后的焊点图像，硬件条件高，在线性差。

1.2.3 机器视觉及工业检测

以计算机视觉理论为基础发展起来的机器视觉技术，已广泛应用于生产过程的监控和测量，成为解决许多在线问题最有效的途径^[30]。计算机视觉是采用图像处理、模式识别、人工智能技术相结合的手段，着重于一幅或多幅图像的计算机分析。图像可以由单个或多个传感器获取，也可以是单个传感器在不同时刻获取的图像序列。分析是对目标物体的识别，确定目标物体的位置和姿态，对三维景物进行符号描述和解释。

机器视觉则偏重于计算机视觉技术工程化，能够自动获取和分析特定的图像，以控制相应的行为。一个机器视觉系统就是一个能自动获取一幅或多幅目标物体图像，对所获取图像的各种特征量进行处理、分析和测量，并对测量结果做出定性分析和定量解释，从而得到有关目标物体的某种认识，并做出相应决策的系统。机器视觉系统的功能包括：物体定位、特征检测、缺陷判断、目标识别、计数和运动跟踪。

机器视觉是一个相当新且发展十分迅速的研究领域，并成为计算机科学的重要研究领域之一。机器视觉^[31]是在 20 世纪 50 年代从统计模式识别开始的，当时的工作主要集中在二维图像分析和识别上，如光学字符识别、工件表面、显微图片和航空图片的分析和解释等。60 年代，Roberts 通过计算机程序从数字图像中提取诸如立方体、楔形体、棱柱体等多面体的三维结构，并对物体形状及物体的空间关系进行描述。接着，人们对积木世界进行了深入的研究，研究的范围从边缘、角点等特征提取，到线条、平面、曲面等几何要素分析，一直到图像明暗、纹理、运动以及成像几何等，并建立了各种数据结构和推理规则。到了 70 年代，已经出现了一些视觉应用系统。70 年代中期，麻省理工学院人工智能实验室正式开设机器视觉课程。同时，MIT AI 实验室吸引了国际上许多知名学者参与机器视觉的理论、算法、系统设计的研究。不过，对机器视觉的全球性研究热潮却是从 20 世纪 80 年代开始的，到了 80 年代中期，机器视觉获得了蓬勃发展，新概念、新方法、新理论不断涌现，比如，基于感知特征群的

物体识别理论框架、主动视觉理论框架、视觉集成理论框架等。

机器视觉技术正广泛的应用于各个方面，从医学图像到遥感图像，从工业检测到文件处理，从毫微米技术到多媒体数据库，不一而足。可以说，需要人类视觉的场合几乎都需要机器视觉。应该指出的是，许多人类视觉无法感知的场合，如精确定量感知、危险场景感知、不可见物体感知等，机器视觉更突显其优越性。机器视觉的典型应用如下：(1)零件识别与定位；(2)产品检验；(3)移动机器人导航；(4)遥感图像分析；(5)医学图像分析；(6)安全鉴别、监视与跟踪；(7)国防系统。另外，机器视觉还用于各种球类运动分析、人体测量、食品、农业、心理学、电视电影制作、美术模型、远程教育、多媒体教学等场合。

在工业领域中，机器视觉的应用已从国防工业转向了民用工业。此时的图像处理技术的日益完善和可靠，成本日益降低，能够更有效地代替人的工作。同时，随着生产过程的高度自动化和产品质量的日益提高，有些工业生产必须要求有更有效、更精确和高速度的检测手段。因此，图像处理和计算机视觉检测技术就越来越广泛地应用于工业领域。工业视觉系统的最初发展，大约始于 70 年代。计算机技术的进步，特别是集成电路技术的发展，计算机视觉理论的创新和完善，成为工业视觉系统飞速发展的基础。到 90 年代，在工业发达国家工业视觉系统都得到了广泛的使用，这使其成为计算机集成制造系统最重要的组成部分之一。

工业视觉系统与普通视觉系统的区别，不在于图像处理的理论方法，而在图像处理实现的技术，在于工业应用环境的特殊要求^[32]。典型的工业视觉系统在线工作于生产流水线中，被测物体是运动的，图像的获取与物体的运动同步进行，被测物体处于杂乱背景中，必须将其从中提取出来。此外，检测结果必须及时报告或通知给其它执行系统。这使得工业视觉系统必须包括一些必要的子系统：光源和光学成像系统，获取图像与图像处理系统，用于控制摄像、图像处理、图像分析的计算机系统，与生产线的同步通讯系统，输出检测结果系统。工业视觉系统的各子系统，随应用的问题不同，有很大的不同。通常，根据求解的问题不同，系统设计必须分别选择或设计不同的子系统，最后集成为一个完整的系统。

工业视觉系统的应用大致可分为两个，工业视觉检测系统和工业机器人系统。工业视觉检测系统是利用视觉手段获取被测物体图像与预先已知标准进行比较，从而确定被测物体的质量状况。工业机器人系统是一种基于视觉测量并进行制导和控制的系统。工业视觉检测系统比工业机器人系统有更广泛的应用。

计算机视觉系统可用于工业领域的很多方面，如零件检验与尺寸测量，零件的缺

陷检查，零件装配，机器人的引导和零件的识别等。应用图像处理及计算机视觉检测技术最多的部门是电子工业，其次是汽车工业、木材工业、纺织工业、食品加工工业、包装工业及航空工业等等。已取得的应用成果有：产品形状和表面缺陷检查；产品非破坏性检查；机器人应用；产品分类；其它应用等。

考虑经济效益因素，一般将计算机视觉技术应用于以下场合：在线处理零件；恶劣的制造环境，不适于人进行操作；在运送过程中零件可能损坏且有大量的小零件需要测量；有合适的照明条件。其中，在需要重复检测相同部件或产品的场合中，计算机视觉技术的应用最为广泛，采用的主要技术手段有计算机技术、传感技术、图像处理技术、模式识别技术等，其目的在于利用这些技术构成性价比优良的工业视觉检测装置。如果零件外形变化对加工不重要，或现场照明条件很差，或传感器能够提供所需的信息时，就不需要使用计算机视觉系统。

美国国家标准局八十年代在调查的基础上曾作过预测：今后工业检测工作的 80% 将由视觉检测技术完成。经过十多年的发展，视觉检测技术在国内外都获得了长足的进步，应用领域已覆盖汽车、钢铁、微电子器件等几乎所有的现代制造业领域。以视觉检测技术在汽车工业上的应用为例，美国 Michigan 大学研制的汽车车身尺寸视觉检测系统已经在美国通用、福特等主要汽车厂得到应用，产生了良好的社会效益。

1.3 本文研究内容与章节安排

本文将在全自动引线键合机的产品的在线缺陷检测作为最终目标，对引线键合产品的质量缺陷与失效形式进行了分析，对产品缺陷检测的有关问题进行了探讨，研究并实现了两种简易的、方便可行的在线缺陷检测方法。本文是按照提出问题，分析问题，最终解决问题的思路来组织内容的，其主要内容包括：

(1)提出问题。指出了全自动引线键合机在键合操作时，其产品可能会出现一些缺陷或失效。该缺陷或失效严重影响了产品的合格率，其相应的检测是十分必要的。同时，也讨论了这些缺陷或失效的种类。

(2)分析问题。研究了引线键合产品的缺陷或失效的类别，并探讨了这些产品缺陷或失效的成因，以及常用的检测方法和操作可行性。

(3)解决问题之一。提出了一种基于数据采集卡的数据采集与处理的统计检测方法，利用引线键合操作时 UG（超声发生器）的输出电压值的统计规律，来逐一判断每一次引线键合时的状态和质量。该方法是实时在线的，满足在线检测的需要。

(4)解决问题之二。实现了基于机器视觉的在线检测方法，利用引线键合操作中 CCD 相机采集的产品图像，结合图像处理知识和实际工艺经验，对产品的外表形貌进行检测。该方法可同时检测多种缺陷，也可满足自动检测的需要。

全文共分为五章：第一章为绪论部分，介绍了引线键合技术的发展，引线键合产品质量检测方法的发展，以及机器视觉在工业检测中的应用；第二章对引线键合产品的质量缺陷与失效形式进行了研究，归纳了缺陷与失效的种类，探讨了各种缺陷与失效的成因以及相应的检测方法；第三章阐述了基于数据采集卡的统计性检测方法的原理以及实现，详细介绍了其在线检测中实际数据处理技术，并给出了实验数据及结论，最后阐述了该方法的硬件实现与软件模块设计；第四章阐述了基于机器视觉的在线检测方法的原理及实现，详细介绍了检测中的关键图像处理技术，并用一组实验数据来证明该方法的可行性和易用性，最后阐述了该方法的系统软硬件实现。第五章是对本文工作的总结以及对后期工作的展望。

值得注意的是，本文所完成的工作，是全自动引线键合机的研制这一课题的一部分。因此，我们的检测方法强调了实时在线性，以及实现该方法的硬件成本低廉性。本文所实现的两种检测方法都能满足机器的需要，作为机器的系统软件的单一功能模块，可供用户选用。

1.4 研究目的与意义

随着 IC 集成度日益提高，功能日益增多，电路封装也感受到了集成度的压力，高集成度必将导致芯片引脚数目的增多，这就形成了向电子产品小型化的挑战。目前，引线键合技术已成为半导体生产流程中的主要技术。在应用引线键合技术实现芯片的 Pad 与 PCB 的 Lead 引线键合时，越来越密的 Pad 间距、越来越细的引线、越来越小的焊点都给人工视觉检测带来了很大的困难；同时，生产的高速性也对一般的 off-line 检测提出了更高的要求。

本文研究了全自动引线键合机器的产品的质量缺陷与失效形式，分析了这些失效形式的成因，以及适应的检测方法。然而，最为重要的，也是本文的技术创新之处，在于本文研究并实现了两种自动在线检测的方法：基于数据采集卡的统计性检测方法与基于机器视觉的在线检测方法。本文从产品质量检测的硬件成本、自动化程度，以及检测的实时在线能力等方面考虑，从理论和实践两个角度详细阐述了这两种方法。本文研究的意义主要表现在：

(1)对引线键合产品的质量缺陷与失效形式进行了分类和归纳，并分析了其成因。

这对寻找更加精确、高速的缺陷检测方法提供了依据，也对引线键合操作的工艺过程的改善提供了重要的参考资料。

(2)基于数据采集卡的统计性检测方法是一种实时在线检测方法。该方法可以监控键合操作时的机器状态，实时报告焊点的断线情况，能在键合操作的同时提供一份质量参考依据。该方法的研究与实现是非常有益的、及时的。

(3)基于机器视觉的在线检测方法是在机器焊完一块芯片后的统一检测。该方法可以替代常规检测中的显微镜抽检（随机抽查一些产品，在显微镜下检查焊点的外貌），节省了大量的人力和物力。该方法也可作为工业生产中其他产品的在线视觉检测研究的参考依据。

总之，本文所研究的两种检测方法兼顾了全自动引线键合机器的硬件低廉性与检测结果的精确性，能及时检测产品，提高产品合格率，满足实际生产中产品检测的需要。基于这两种方法的系统实现还可以作为机器软件体系的单一功能模块任意选用。把检测功能模块添加到引线键合机上，实现引线键合产品的实时在线检测，有助于增强国有产品的智能自动化水平，提高国有产品的性价比，大大增强国有产品在国内国际市场的竞争力。

2 引线键合产品失效分析及检测

2.1 前言

引线键合的过程，其实质是键合机的焊具（球焊为劈刀，楔焊为楔）牵引着焊线，在外部能量（超声能或者热能）的控制下，连接芯片的焊盘（Pad）与引线框架（Lead）这两个焊点的过程。在实际加工中，Pad 或 Lead 的焊接表面可能会被一些随机的杂质污染，导致焊接时出现虚焊或者焊不牢的情况；焊具本身也可能由于使用时间过长而出现缺陷，导致焊点脱落的情况；同时，焊接工艺有很多因素来控制，如焊接功率、焊接压力和焊接时间等，其中某一因素的不当，也可能导致产品的失效。类似以上的种种原因，都可能导致产品的质量缺陷和失效。如果不及时采取控制措施，将会导致材料的浪费，成本的提高；若没有及时检测并剔除，任其流通到后续的工序中，也会带来不必要的加工，使废品率增加。因此，及时的检测键合产品，分析其质量缺陷和失效，反馈并控制机器的操作，将显得特别有意义。

引线键合产品的失效方式有很多。在键合操作过程中，由于焊具上没有焊线而导致的缺陷称为键合操作断线失效。实际生产中，出现最多的却是键合点形貌上和性能上的失效，这些失效有些能够实时观察到，有些则会在以后的实际应用中反映出来。我们把其中的一部分失效归纳为焊点的外形失效，因为这种失效方式反映在焊点的外部形貌上，可以实时观测，如焊点线尾不规范，焊盘出坑，焊点断裂和脱落，焊点位置偏移，焊点的形状、大小和高度不规范等等。还有一部分失效则可以称为可靠性失效，这种失效方式是基于焊点的性能而考虑的，如焊点金属间化合物的形成，引线弯曲疲劳和焊盘腐蚀等。

本章将对键合产品的质量缺陷和失效形式进行详细的研究，介绍其失效的形式，探讨其成因，进而寻找相应失效的检测方法，并详细介绍各种方法的实施与适用情况。

2.2 键合操作断线失效

引线键合的过程，其实质是键合机的焊具牵引着焊线，在外部能量的控制下，连接芯片的焊盘与引线框架这两个焊点的过程。在键合操作过程中，由于机械、材料、

或者工艺的原因，焊线可能会脱离焊具，当没有焊线的焊具进行下一次键合操作时，就不可能完成焊线对焊点的连接。同时，坚硬的焊具直接在焊盘上进行振动，会损坏焊盘的金属化层。这种损伤的焊盘，即使补焊，也很容易形成焊盘出坑的失效。经常的无焊线的键合操作，也会损伤焊具的头部，影响以后正常操作时焊点的形貌。

图 2-1 是在实际键合加工中发现的断线失效。图中，第一个焊点是一合格焊点，而后面的两个焊点则是断线后焊具在焊盘上的压痕，这样的压痕已经损伤了焊盘表面的金属化层。



图 2-1 键合操作断线失效

键合操作中，机械、材料和工艺方面的缺陷都可能导致断线。其断线的原因可能有：键合机器的线夹被污染，或者线夹的关闭控制不当；焊头工作时的走位控制不当；焊具的穿线孔有杂质堵塞；焊线本身的材质不合要求，或焊线被污染；焊盘表面被污染；焊接工艺，如焊接时间、焊接压力控制不当等等。

对于断线失效形式的检测，一般用视觉检测法。人工视觉检测能很容易的发现缺陷，但其缺点是人工成本高、效率低，并且不可以实时检测。自动视觉检测能够很好的解决这个问题，我们将在第四章具体介绍这种方法。同时，针对断线这种特殊的失效形式，本文还提出了一种基于数据采集卡的统计性检测方法，该方法效率高，实时在线性好，很好的满足实际生产的需要。

2.3 焊点外形失效

焊点的外形失效是可以借助光学仪器观察的，它们的失效都反映为焊点的外貌形状不合规范，如焊点上有裂痕、线尾过长，位置过分偏移等。这种失效形式的危害是很大的，一般可以用各种视觉检测方法来检测。人工视觉检测是很多小型工厂一直采用的方法，效率低，自动化程度差。大的生产公司，大批量的生产加工都是应用自动视觉检测方法，自动化程度高，精度和速度都能得到很好的保证。我们在第四章提出的基于机器视觉的在线检测，就能很好的检测焊点的外形失效。

2.3.1 焊点外形失效形式的研究

对实际生产中的键合产品进行统计,我们发现焊点的外形失效最常见的是焊点断裂和脱落,焊点位置偏移,焊点的形状、大小和高度不规范,焊点线尾不规范,焊盘出坑,以及键合剥离等。

焊点断裂和脱落。引线键合时,焊接压力的适当选择非常关键。压力过大,则会损伤焊线,使得焊线过分变形,容易造成压焊处断裂。压力太小,则焊接不充分,导致虚焊,压焊点易于脱落。并且,芯片的焊接表面太脏,也会出现虚焊甚至焊点脱落的情况。

超声波键合时,焊点的根部会被弱化,其前后的柔性摆动则足以形成裂纹,这种金属学裂纹是引线键合工艺存在的一个重要问题。一般说来,金属学裂纹通常在铝丝楔键合第一个焊点和金丝球键合第二个焊点的根部形成。其裂纹的形成,我们将在下一节具体讨论。

焊点位置偏移。位置偏移是指焊点的粘接区域不在指定的焊盘中心。一般情况,粘接区域会沿着引线方向向前或向后偏移,严重的情况下,有可能会焊在焊盘区域外,造成短路,烧毁芯片。焊点位置偏移一般是键合机械自身的缺陷造成的,如机器的视觉定位系统不精确,机器的运动控制系统存在很大的误差等等。

焊点的形状、大小和高度不规范。焊点的形状、大小和高度(指球焊时)都有严格的规范。焊点压扁和过大,会因之拉力大为减小,可能造成焊点间距过小而易于短路;焊点过小,也会造成焊接拉力不足,使得器件易失效。球焊时,球形焊点的高度也是焊点质量检测的一项很重要的任务。

焊点线尾(Pigtail)不规范。这是楔键合时最容易发生的,而且也是最难克服的问题。如果线尾过长,则易与裸芯片搭接,导致焊盘间短路,烧毁芯片;如果线尾太短,则意味着作用在第一个焊点上的力分布在一个很小的面积上,将导致过量变形。焊点线尾的长度一般来说,应该相当于两倍的焊线直径。其线尾的长度不规范,可能的产生原因如下:焊线表面肮脏;焊线传送角度不对;楔通孔略微堵塞;用于夹断焊线的工具肮脏;夹具间隙不正确;夹具所施加的压力不对;焊丝拉伸不当等。

焊盘出坑(Cratering)。焊盘出坑通常出现于超声波键合中,是指对焊盘金属化层或者其下面半导体材料层的一种机械损伤。这种损伤有时是肉眼可见的凹痕,更多是不可见的材料结构损伤,它将降低器件性能并引发电损伤。在进行键合拉力试验时,这种损伤表现为拉起一大块半导体材料。其产生原因可能如下^[6]:超声波能量过高,导致硅晶格层错;楔键合时焊接压力过高;焊具对加工基板的冲击速度过大;焊盘厚

度太薄；球键合时焊球太小致使坚硬的焊具接触到了焊盘金属化层；铝丝超声键合时金属丝太硬，可能导致硅片出坑。当焊盘金属和引线金属的硬度匹配时，其键合质量最好，出坑现象减少。

键合剥离。在进行焊点拉力试验时，其根部可能会部分或完全脱离键合表面，断口光滑，这种失效形式就是键合剥离。它主要是由工艺参数选择不当或者焊具的质量下降所引起。

2.3.2 键合点根部裂纹与键合强度

键合点的根部裂纹是超声键合工艺中影响键合强度的主要因素，严重的根部裂纹不仅使焊点的键合强度降低，甚至会使键合点失效。在超声波键合时键合点的根部已经被弱化，前后的柔性摆动已足以形成裂纹。形成金属学裂纹是引线键合中的一个重要问题。裂纹通常在 Al 丝楔键合第 1 个焊点和 Au 丝球键合第 2 个焊点的根部形成。键合点根部损伤，出现裂纹，如图 2-2 所示。

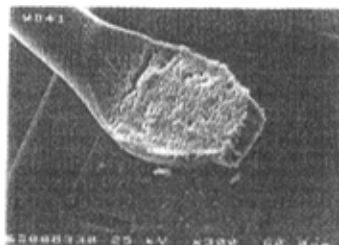


图 2-2 键合点根部裂纹

键合点根部裂纹和键合机器的工艺参数，如功率、压力和时间有关，也和衬底的金属化层及键合丝的性能有关，还和劈刀的形状、劈刀的清洗状况等因素有关。裂纹的形成可能是如下情况导致的^[6]：键合工具的根部过于尖锐；键合工具抬离第一个焊点之前或抬离过程之中，键合设备发生了振动；受键合强度的影响，焊线过度变形；闭环引线的上升坡度太陡；第一次键合后焊具移动太快。闭环引线的高度越高，焊具移动的就越多，从而增加出现根部裂纹的可能性。当第二个焊点明显低于第一个时，也会增加出现裂纹的可能性。根部裂纹将导致焊点拉脱力降低 50%，同时引发早期循环失效。

同时，键合点根部裂纹还可能由键合铝丝的性能，如破断力、延伸率差等因素所造成。图 2-3 是超声键合的示意图。超声键合时，为增加键合丝的拱丝高度，劈刀

通常是垂直抬起。如图 2-3 所示，第 1 焊点键合完成后开始拱丝时，键合丝和芯片表面几乎成 90° 角，第 2 焊点键合完成后，键合丝和芯片间的夹角就变得非常小。这样，再加上键合丝的性能差等原因，最终造成了键合点的根部损伤。

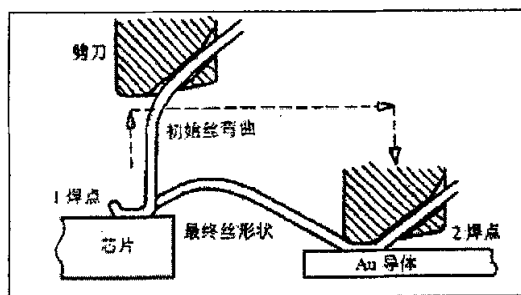


图 2-3 超声键合拱丝示意图

超声键合的最佳键合状态主要由压力、时间和功率三种工艺参数是否相互匹配来决定，不能单一强调某个参数的作用^[33,34]。在工艺参数的优化工程中，我们选择压力和时间维持在某一最佳条件下，改变超声功率进行键合，再对键合丝进行强度试验，测试键合强度，同时对键合失效模式进行分析，如此反复进行试验，最终确定最佳工艺参数。

图 2-4 是键合强度与超声功率的关系曲线。在压力和时间一定的条件下，键合强度随超声功率的增加而升高^[35,36]，如图中 ab 段。此时键合点的失效模式主要为焊点脱落，说明超声功率低，键合的能量不够，造成虚焊。增加超声功率，键合强度维持一恒定值，如图中 bc 段，此时键合的失效模式主要由焊点脱落转变为键合断线，这种失效模式主要与 Al 丝材料和 Al 丝退火有关。当功率再增加时，键合强度随之下降，图中 cd 段，失效模式主要由键合丝颈部断开和焊点脱落造成。此时，焊点的宽度过宽，厚度过薄。这主要是由于超声功率太大，键合丝根部和焊点的损伤所致。

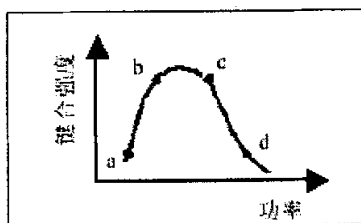


图 2-4 键合强度与超声功率的关系

2.4 焊点可靠性失效

可靠性失效是一种影响焊点性能的失效方式。这种失效方式由于不能直接借助光学仪器而观察到，往往会被工作人员忽略，进而造成很大的危害。可靠性失效往往缩短了产品的寿命周期，其有效的检测方法一般为机械检测法，包括破坏性引线键合拉力试验、非破坏性引线键合拉力试验、以及疲劳检测试验。

2.4.1 焊点可靠性失效形式的研究

在电子元件的实际应用中，其芯片的焊点可靠性失效一般会出现这几种形式：金属间化合物的形成，引线弯曲疲劳与振动疲劳，焊点、焊盘和引线框架腐蚀，以及金属迁移等。

金属间化合物形成。研究发现，Au 丝和 Al 金属化层，或 Al 丝和 Au 金属化层，其键合都会生成 Au-Al 金属间化合物，如 $AuAl_2$ 、 Au_2Al 、 $AuAl$ 、 Au_5Al_2 、 Au_4Al 等。这些金属间化合物的晶格常数，膨胀系数及形成过程中体积的变化都是不同的，而且多是脆性的，导电率都较低，在振动或受有应力时，由于金属疲劳和在应力下产生裂纹，最终导致焊点失效。金属间化合物的形成将在下一节内容里具体分析。

引线弯曲疲劳与振动疲劳。引线弯曲疲劳的起因在于引线键合点根部出现裂纹，可能是键合操作中机械疲劳，也可能是温度循环导致热应力疲劳。所谓振动疲劳，就是在键合产品的后续工序中，由于产生谐振的因素而损伤焊点。

焊点、焊盘和引线框架腐蚀。这种腐蚀可能会导致引线一端或两端完全断开，从而使引线在封装体内自由活动并造成短路。研究发现，潮湿和污物是造成腐蚀的主要原因。如键合位置上存在 Cl 或 Br，将导致形成氯化物或溴化物，腐蚀焊点，导致焊点电阻增加直至器件失效。同样，引线框架的残余应力可能会过大，或者在为防止引线框架基体金属腐蚀而进行的表面镀层工艺中引入了过多的表面污染，这些都会导致引线框架逐渐被腐蚀。

金属迁移。金属迁移是指从键合焊盘处开始的金属枝晶生长。这是一个金属离子从阳极区向阴极区迁移的电解过程，与金属的可获得性、离子种类、电势差等相关^[6]。金属迁移将导致桥连区的泄露电流增加，如果桥连完全形成则造成短路。最为广泛报道的是 Ag 迁移。其它金属，如 Pb、Sn、Ni、Au 和 Cu 也存在迁移现象。这是一种逐渐失效现象。

2.4.2 键合点 Au-Al 金属间化合物

无论是 Au 丝和 Al 金属化层，还是 Al 丝和 Au 金属化层，其键合都会生成 Au-Al 金属间化合物。其实 Au-Al 金属间化合物并不是一个新问题。早在 1900 年，这些合金成分的液相图就已被完全确定。图 2-5 是 Au-Al 合金的二元相图^[37]。从图 2-5 可知，当 Au 的含量高时， Au_4Al 是主要的合金相；当 Al 的含量高时，主要生成 $AuAl_2$ ；当 Al、Au 的含量相当时，就会产生 AuAl。有研究发现，薄膜 Au 导体和厚膜 Au 导体采用 Al 丝超声键合时，至少有四种金属间化合物生成，即 Au_4Al 、 Au_5Al_2 、AuAl 和 $AuAl_2$ 。随着时间的延长和温度的升高，键合界面总会产生这些金属间化合物。

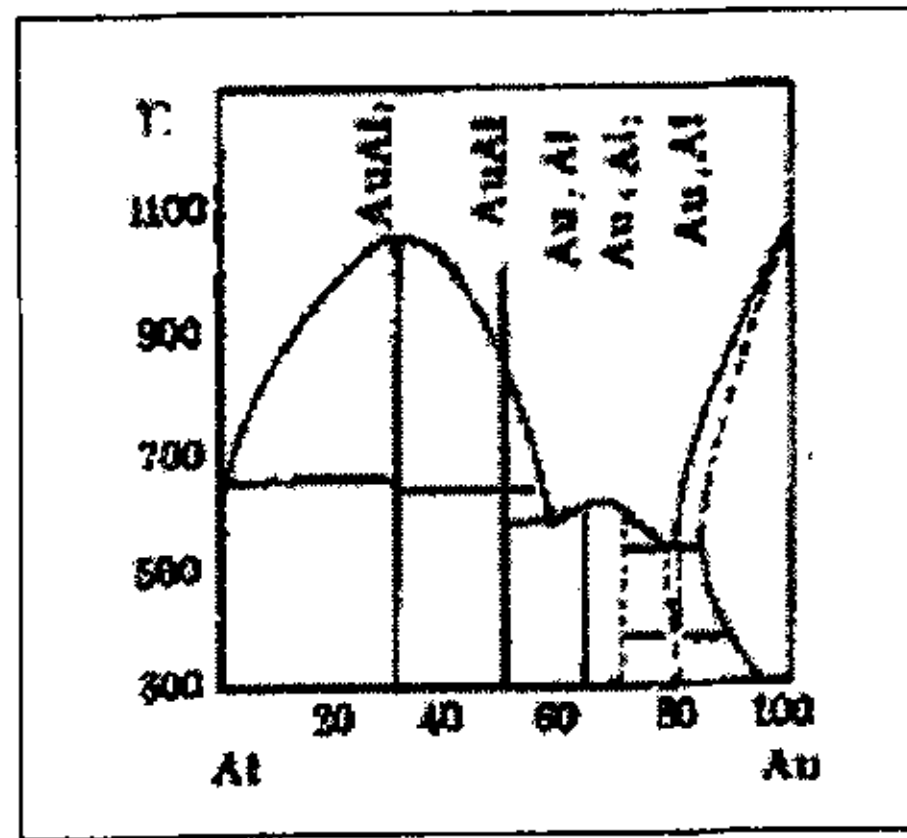


图 2-5 Au-Al 合金的二元相图

这些金属间化合物的晶格常数，膨胀系数及形成过程中体积的变化都是不同的，而且多是脆性的，导电率较低，在振动或受有应力时，由于金属疲劳和在应力下产生裂纹，最终导致焊点失效。同时，器件在长期使用或遇到高温后，在 Au-Al 压焊处会出现压焊强度降低，变脆，以及接触电阻变大等情况，最终可能导致器件在此开路或器件的电性能退化。

在 Al 丝和 Au 导体之间会生成金属间化合物。靠近 Au 导体的表面区域是两种富金相的金属间化合物 Au_4Al 和 Au_5Al_2 ，其余为三种富 Al 相， Au_2Al 、AuAl 和 $AuAl_2$ 。而且富 Au 相要比富 Al 相的生长速度快 3 倍。随着温度的增加，Au 向 Au_5Al_2 相中扩散，在 Au- Au_5Al_2 界面形成 Kirkendall 孔洞。这一过程在 Al- $AuAl_2$ 界面同样会发生。金属间化合物的增加导致了 Kirkendall 孔洞的聚集，最终导致焊点脱落或金属化层脱落。

早期的研究发现 Au-Al 接触加热到 $300^{\circ}C$ 时生成的紫色的金属间化合物 $AuAl_2$ ，

俗称紫斑，长期认为这种现象是引起器件焊接失效的原因。后来，在大量研究中发现，这一现象是十分复杂的。除紫斑外，Au-Al 界面生成的一种金属间化合物 Au_2Al 接触电阻更大，更具脆性；因是白色，俗称白斑。此外，还可能生成 $AuAl$ 、 Au_5Al_2 、 Au_4Al 等化合物，但通常 Au 量比 Al 多，故观察到的多为 Au_4Al 、 Au_5Al_2 、 Au_2Al 。由于这些化合物的晶格常数不同，机械性能和热性能也不同，反应时会产生物质移动，从而在交界层形成可见的柯肯德尔空洞 (Kirkendall Void)，或产成裂缝，从而易在此引起器件焊点脱开而失效。若将 Au-Al 焊接处置于高温下，金属间化合物的厚度将逐渐增加。其增长状态满足简单的扩散关系，即 $X^2=Dt$ ，这里 X 为扩散深度，D 为扩散系数，t 为扩散时间。由此分析可以看出，要减小 Au-Al 间金属间化合物的不断生长，应尽可能避免在高温下长时间压焊，器件的使用温度应低于 $100^\circ C$ 。

2.4.3 影响焊点可靠性的因素

键合产品的焊点可靠性失效是一种性能失效，短期内不易察觉，但在产品使用中严重影响其寿命，危害极大。因此，找出影响焊点可靠性的因素，并从材料或工艺上去避免这些因素的出现，有助于提高产品的性能。影响焊点可靠性的因素有：

机器视觉定位和运动控制的精度不够。机器视觉定位的精度，包括全自动键合过程中图像模板的匹配精度，还有机器工作台的控制精度，都能影响焊点的位置精度。焊盘间距越小的芯片，越需要严格的定位精度和控制精度。

器件表面被污染，原子不能相互扩散^[5]。芯片、管壳、劈刀、焊丝、镊子等，各个环节均可能被污染。工作环境的净化度不够，可造成灰尘污染；工作人员的身体净化不彻底，可造成有机物污染或钠污染等；芯片、管壳等未及时处理干净，残留镀金液，可造成钾污染及碳污染等。这些污染属于批量性污染，可造成一批产品报废，或引起焊点腐蚀，造成失效。焊丝、管壳存放过久，不但易污染，还易老化，其硬度和延展性能也会发生变化。

界面上有绝缘层形成。在芯片上，键合区光刻胶或窗口钝化膜未去除干净，能形成绝缘层。管壳镀金层质量低劣，能造成表面疏松、发红、鼓泡、起皮等。金属间键合接触时，在有氧、氯、硫、水汽的环境下，金属很容易与这些气体反应生成氧化物、硫化物等绝缘夹层，或受氯的腐蚀，导致接触电阻增加，从而使键合可靠性降低。

焊点金属化层存在缺陷。焊点的金属化层可能会存在着一些缺陷，如芯片金属化层过薄，使得键合时无缓冲作用，损伤芯片；芯片金属化层出现合金点，在键合处形成缺陷；芯片金属化层粘附不牢，键合时容易脱落，可能会导致焊盘出坑的现象。

材料间的接触应力不当。键合应力包括热应力、机械应力和超声应力。键合应力过小会造成键合不牢，但键合应力过大，同样会影响焊点的机械性能。应力大不仅会造成焊点根部损伤，引起焊点根部断裂失效，而且还会损伤焊点下的芯片材料，甚至出现裂缝^[38,39]。

操作环境的影响。超声键合时，若外界振动、机件振动或管座固定松动，或位于通风口，均可造成键合失效。

静电损伤。静电损伤^[5]就是键合引线与电源金属条之间放电，引起失效。当键合引线于芯片水平面夹角太小时，在ESD（静电放电）应力作用下，键合引线于环绕芯片的电源线或地线之间，因距离太近易发生电弧放电而造成失效。

2.5 相关质量检测方法的研究

根据需求和环境的不同，我们用下面的几种方式来检测和评估引线键合的产品：电特性检测法、机械检测法和视觉检测法。机械检测法一般又分为破坏性引线键合拉力试验和非破坏性引线键合拉力试验两种。视觉检测法一般也分为人工视觉检测和自动视觉检测两种。

2.5.1 电特性检测法

电特性检测法依据原产品的设计规则，设计专门的检测器件与探针。检测时，应用两个探针，连接电子器件上预先确定的两点，使得整个形成通路。两个探针之间连接有相应电路和有声器件，若通路工作正常，则响声示之。

该检测方法最主要检查键合点的电路是否连通，以及有没有短路现象的出现。该方法比较简单，一般的玩具芯片在引线键合操作完成后，就用其进行检测，检测合格的芯片才能进行下一步的点胶封装操作。该检测方法需要专门设计检测器件的电路与探针，检测器件不具有通用性。并且，该检测方法不能提供对电子组件长期可靠性问题的答案。

2.5.2 破坏性引线键合拉力试验

破坏性引线键合拉力试验是测试集成电路封装引线键合强度，即确定引线键合拉力是否符合有关标准和规范规定的引线键合强度的要求。试验可应用于热压焊、超声焊以及其他焊接技术对封装内部的引线于芯片键合、引线于封装基片键合，它也可应

用于集成电路封装的外部键合，如引线与基片或印刷板的键合，或应用于不采用内引线的集成电路封装中的芯片与基片之间的键合，如梁式引线和倒装式封装。

破坏性引线键合拉力试验又分为单个键合点试验、双键合点试验以及键合拉脱试验^[4]：

单个键合点引线拉力试验，通常用于集成电路的芯片与外壳或引线框架的内部键合。连接芯片和外壳的引线应被切断使两端都能进行拉力试验。在引线较短的情况下，有必要在靠近某一端切断引线，以便在另一端可以进行拉力试验。试验时，先把引线固定在适当的夹具上，然后对引线施加拉力，其作用力大致垂直于芯片表面或基片。对于球形焊点其力加于和芯片或底座垂直线夹角 5° 内，对于楔形焊点其力加于和芯片或外壳平行线夹角 5° 内（也可使用垂直加力）。当出现失效时，记录引起失效时力的大小和失效类别。

双键合点引线拉力试验，应置一小钩于连接芯片与底座的引线之下，然后大约在引线中央对小钩施加拉力，该拉力方向与芯片或底座表面垂直，或者是两键合点间直线的法线方向夹角的 5° 之内，拉力逐渐增加直到引线或键合点被破坏或达到最小键合拉力为止。当出现失效时记录引起失效时力的大小和失效类别。

键合拉脱试验，应先将封装基片予以固定，然后对引线与布线板（或基片）之间以某一角度施加拉力，直到引线或键合点拉脱为止，若无其他规定，该角度为 90° 。当出现失效时，记录引起失效时力的大小和失效类别。

2.5.3 非破坏性引线键合拉力试验

非破坏性引线键合拉力试验是在避免损坏合格引线键合的同时找出不合格的引线键合。也就是不需将引线拉断就能判断其键合强度是否能达到规定的要求。这种试验方法非常适用于超声楔焊和热压球焊在生产过程中的检测。

非破坏性引线键合拉力试验^[4]开始前，将试验样品固定，然后调节拉力试验设备的上升装置，并根据引线的尺寸和材料确定施加规定的应力数值。试验时，首先转动实验样品到合适位置，使测试夹具在被试引线中部和拱丝弯度最高点之间与引线接触（对球形焊点应在中央和芯片边缘之间）。拉力方向大致垂直于芯片，或大致与键合点之间直线垂直。然后驱动上升装置，使所产生的冲击力减至最小，在整个拉力试验过程中指示显示的冲击力不应超过设备规定的精度，施加应力的时间不得超过 1 秒。当钩子沿键合点之间直线上升使应力至规定的最小键合拉力时，试验即可停止，再观察键合是否断裂，如有断裂则剔除该试验样品，并找出失效模式和失效原因。若允许返工，

应在返工之前试验其他所有的引线，返工后再检验经返工的引线。如果在一个试验样品上所有键合都不断裂，则从测试钩子中轻轻取出引线，并对引线略加整理，视为合格，直到规定试验样品全部试验完毕为止。再记录在预定规定应力下试验而失效的引线数和未通过的试验样品数。

进行非破坏性的引线键合拉力试验，其施加的应力较小，如无特殊情况由引线中部产生断裂的可能性不大，而往往是键合点脱落或引线从根部断裂。这种现象主要发生在焊接工艺上，与形成的焊点位置和焊点形状有关，如焊点偏移、焊点变形等等，都将是产生引线键合拉力不高的原因。键合用的引线和劈刀对引线键合也有很大关系，金属引线要在生产前事先检验清楚，保证其拉力强度和延伸率都应符合标准。劈刀的规格也是多种多样的，应根据使用要求和引线材料来选用，劈刀的端面出现不平整和粗糙时，则容易压伤引线和产生焊点变形。

2.5.4 人工视觉检测

人工视觉检测（MVI）就是借助显微镜等光学设备，用人眼来观察键合产品的外貌特征，进而根据检验规则和经验，评估产品的质量，分析失效的原因。人工视觉检测是最为传统的一种检测技术，其市场形成得早，近年来由于多种新的检测技术不断推出，从而使得人工视觉检测法的应用逐渐减少，并逐渐被自动光学检测（AOI）所取代^[40]。

从应用角度分析，由于电子组装追求的是高产量，因此检测速率低的 MVI 在应用上受到一定限制，再加之操作人员容易疲倦等，都成为人工检测逐渐减少的原因。另外，一些先进结构的封装产品如 BGA 等大量被采用，是无法用视觉直接目视检测的，因此也限制了 MVI 的应用范围。但由于 MVI 设备价格较便宜，因此，对消费类电子产品制造商来说，也是一种具有成本效率优势的检测设备，尤其是在亚洲地区的电子组装厂被接受的意向较高。再加上某些自动化设备也还存在着无法突破检测死角的技术缺陷，所以使得人工视觉检测仍有一定的市场空间。

人工视觉检测是一种离线的检测方法，一般用来抽检产品。严格的人工视觉检测可有效地剔除内引线键合的不合格品。分别通过 40 倍左右和 1000 倍左右的显微镜观察，可以找到键合位置不当、焊线损伤、焊线尾部过长、键合颈部损伤、键合面明显玷污及异常、键合变形过大或过小、金属化表面有擦伤、键合引线 with 管芯夹角太小、残留的焊线头在管芯上或管壳内等问题。

2.5.5 自动视觉检测

自动视觉检测技术是一种以计算机视觉方法为基础，综合运用图像处理、精密测量以及模式识别、人工智能等技术的非接触检测方法。其基本原理是通过对计算机视觉系统得到的被测目标图像进行分析，从而得到所需要的测量信息，并根据已有的先验知识，判断被测目标是否符合规范。自动视觉检测技术是一种很有发展前途的检测技术，可以实现智能化、柔性、快速和低成本检测，而工业摄像机与图像处理技术的普及与发展已给自动视觉检测技术提供了广阔的应用前景^[41]。一般来说，自动视觉检测技术可以使得检测过程具有实时在线性，智能性以及高精度性。

引线键合产品的自动视觉检测方法，就是用工业摄像机 CCD 实时获取键合产品的图像，接着运用图像处理、模式识别等技术进行分析，从而得到所需检测的区域或者点的信息，并运用已有的先验知识对该信息进行评估，进而完成焊点的检测。这样的自动检测系统一般应该包括：光学成像系统、图像捕捉系统（CCD 摄像机）、图像采集与数字化（图像采集卡）、图像处理模块（智能图像处理与决策模块）和控制执行模块，如图 2-6 所示。

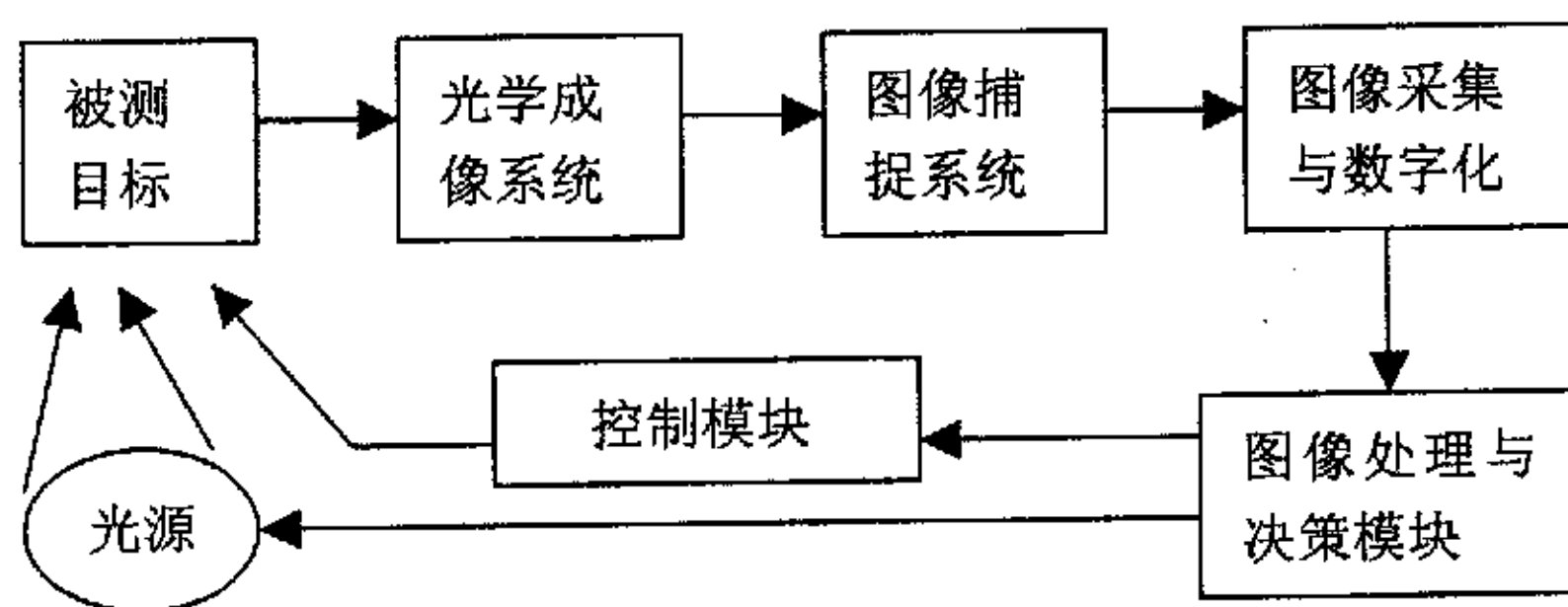


图 2-6 自动视觉检测系统的组成

一个好的光学成像模块是自动检测系统性能优良的前提，光学系统的好坏往往严重影响着实际应用的检测精度以及检测范围。光照好，抓取的图像清晰，其相应的后续图像处理就比较简单。CCD 摄像机和图像采集卡种类很丰富，可以根据需要在市场上购买。图像处理的算法，以及图像处理支撑软件的选择，都是视觉检测系统设计时的关键，检测时的精度和速度，很大程度上取决于软件系统中的算法。控制执行模块保证了检测的自动进行。

值得注意的是，图像的处理能力和速度是自动视觉检测系统一个很重要的指标。在引线键合产品自动视觉检测系统中，图像处理模块应当完成如下任务：确定特征位

置，检测特征的尺寸和形状，识别特征的缺陷，并做出相应的决策。目前的许多商用实时图像系统，它们将许多通用算法，如算术逻辑运算、邻域或线中值滤波、数学形态学滤波、直方图、二值相关滤波、特征提取等，制成积木化的硬件模块，可以组合选用，这些实时图像处理系统还提供了许多附加功能，如感兴趣区处理，隔行扫描图像输入，与逐行图像处理实时双缓冲同步等。

实时图像处理系统往往只进行数字图像的低级处理，即噪声滤波和特征提取。通用计算机用于实时读取来自图像处理系统的特征数据，并在此基础上进行特征数据的分析、识别和判决，同时还控制图像处理系统的工作流程，实现与生产线同步通讯，把检测结果实时向外输送。特征数据分析，是较高级处理，需要特定知识的支持，但在工业应用中，图像分析的时间很有限，因此，研究简单有效的算法将显得非常重要。

2.6 本章小结

本章对引线键合产品的质量缺陷与失效形式进行了详细的研究，把产品焊点的失效分为键合操作断线失效、外形失效和可靠性失效，并分别讨论了其最常见的失效形式及成因，重点阐述了键合点根部裂纹与键合强度、键合点 Au-Al 金属间化合物的组成及危害、以及影响焊点可靠性的因素。

当然，本章也探讨了键合产品的几种常见的检测方法，包括电特性检测法、机械检测法、以及视觉检测法。电特性检测法操作简单，用来检测封装后的电路是否连通，但没法用来评估产品的寿命周期；机械检测法操作麻烦，一般用来抽检，衡量键合点的键合强度情况；视觉检测法主要检测焊点的外貌特征，应用自动视觉检测法，能够很方便的实现产品的实时在线检测。

3 基于数据采集卡的统计性检测

3.1 前言

根据外部能量提供的方式，引线键合可分为热压键合、超声键合和热超声键合三种形式。超声键合是塑性流动与摩擦的结合，通过石英晶体或磁力控制，把摩擦的动作传送到一个金属传感器上。当石英晶体上通电时，金属传感器就会伸延；当断开电压时，传感器就会相应收缩。这些动作通过超声发生器发生，振幅一般在4~5个微米。在传感器的末端装上焊具，当焊具随着传感器伸缩前后振动时，焊丝就在键合点上摩擦，通过由上而下的压力发生塑性变形。

超声键合的能量是由超声发生器(UG)来提供。当超声发生器提供能量进行焊接时，对于其焊具有线和无线的情况，其电路本身的阻抗和电压值是有很大的变化的。本方法就是在基于这个发现的基础上，采集焊接时UG的电压值，并用特定的数据处理方法来分析数据，判断焊接时焊具是否有线。对于超声键合时的动态信号已有学者研究过^[42,43]，而本章的重点在于采集数据的处理与分析，评判标准的建立，以及实时检测系统的软硬件实现。

3.2 检测方法的研究

基于数据采集卡的统计性检测方法，适用于超声键合方式的键合产品断线失效的检测。在对焊点进行超声键合时，利用数据采集卡获取超声发生器输出的电压值，并把预处理后的数值作为该焊点的检测参数值。然后分析一定数量焊点的检测参数值，找出合格产品焊点的检测区域。用所得的焊点检测区域去实时评估正在进行超声键合的一系列焊点，对不符合该检测区域的焊点报警识别。本方法只适合在线检测键合操作是否有线，对于焊点的位置信息、焊点的线尾信息、以及焊点根部是否断裂，我们另行讨论。

超声发生器(UG)有8位的数字输入，其输入数值可有0~255级。焊接级别(Bond Level)和焊接时间(Bond Time)的数值由程序控制，从这8位的数字通道输入。超声发生器可在500微秒的时间间隔内维持输出功率的数值为一常量，该输出功率是可设置的，其大小由焊接级别来决定，与焊接级别成正比。

在超声键合时，焊线从焊具底部的小孔穿入。若在某个焊点的键合操作中出现问题，引起断线，焊线就会脱离焊具，其下一个焊点的键合将是无线的。焊具在超声波作用下高速振动时，带有焊线和没带有焊线时的阻抗 ($Z_{\text{阻抗}}$) 是不一样的。根据超声发生器内部电路的公式 $P_{\text{out}} = V_{\text{out}}^2 / Z_{\text{阻抗}}$ 可知，输出功率 P_{out} 恒定，阻抗 $Z_{\text{阻抗}}$ 变化，其相应的输出电压 V_{out} 也发生变化。

在对其中某个焊点进行超声焊接的同时，用数据采集卡采集此时的输出电压值。一个焊点一般采集 100 次，得到 100 个数据 Data_i ($i = 1 \sim 100$)。由于采集数据时存在着一定的外界干扰，如刚开始时振速不一致、焊接完成瞬间焊具略抬起等，其采集的输入电压有很大的波动。因此，需对这 100 个数据进行处理与分析，然后得到一个值 V ，并作为该焊点的检测参数值。

现在建立该批产品的检测标准。选择产品中 30 个有线的焊点进行学习，记录他们的检测参数值 V_i ($i = 1 \sim 30$)，这样就得到 30 个数据。对这 30 个数据进行分析，确定焊点检测的边界值 V_{max} 和 V_{min} ，进而确定焊点检测的检测区域 ($V_{\text{min}}, V_{\text{max}}$)。在以后的超声键合中，就可以应用上面得到的检测区域，对焊点进行实时在线评估，若检测参数值不在该检测区域内，则实时报警识别。

3.3 数据处理技术

本统计性检测方法的数据采集与数据处理技术是关键，数据采集的适当与否，相应数据处理方法的好坏，直接决定着检测方法的精度与性能。该方法中的采样数据，是运用数据采集卡，在键合过程中对超声发生器的输出电压进行采样所得。采样的开始，是在键合动作刚实行时，由外部中断触发，软件控制。对每一个焊点采集 100 个数据后，采集结束。

3.3.1 数据剔除

每一个焊点都需要采集 100 个数据，记录在数组 $\text{Data}[100]$ 中，以便对该焊点的采集数据进行分析，进而计算其检测参数 V 。表 3-1 就是对某一个合格焊点 P 采集的 100 个数据：

这 100 个数据的数值偏差基本上在一个特定的范围内，但可能是由于采集过程中的随机噪声的干扰，有一些数据明显的偏离这个范围，如表 3-1 中的红色显示的数据。这些偏差很大的数据不能反映焊点正常焊接时 UG 的工作电压，不利于我们对焊点相应信号的分析，因此，需要对数据进行筛选，以剔除这些偏差很大的随机噪声。Ave_Data

华中科技大学硕士学位论文

是这些数据的平均值，把值在 $(0.8 * Ave_Data, 1.2 * Ave_Data)$ 范围外的数据剔除掉，可得剩余数据的波形图，如图 3-1 所示。

表 3-1 对某一合格焊点 P 所采集的初始数据

6212	6007	5991	6198	170	6300	6348	6339	6298	6399
6307	2309	6322	6351	6379	6408	6387	6578	6791	7001
8238	6783	6631	6633	6578	6420	6428	6399	6379	6380
6360	6345	6357	6351	6339	6330	6310	6328	6341	6331
6341	6348	6344	6339	6331	6338	6339	6341	6349	6343
6344	6345	6350	6351	6337	6339	6350	6341	6347	6341
6350	6350	6351	6359	6336	6351	6346	6344	6354	6348
6345	6339	6350	6350	6346	6349	6350	6347	6341	6330
6310	6278	6217	6319	6300	6309	6328	6318	6319	6304
6301	4249	6279	6291	6189	6006	6023	6056	6089	6141

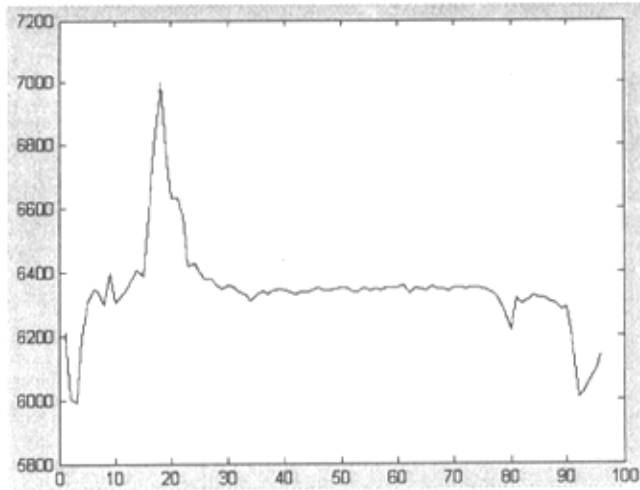


图 3-1 焊点 P 的采样数据的波形图

3.3.2 数据排序与分析

采集数据时存在着一定的外界干扰，如刚开始时焊具振速很快升高，有一定的加速度；焊接完成瞬间焊具略微抬起，使得阻抗的大小有所变化；发生器的供电电源的变化对输出功率的影响；以及焊接过程中一些随机噪声的影响等等，故其采集的输入电压有很大的波动。由图 3-1 可以看出，采样刚开始和快要结束阶段的波动比较大，并且，波峰与波谷的比率较小，数量相当。

数据的分析是建立在数据的排序基础上的，对已经完成排序的 100 个数据，取出中间的 50 个，得到这 50 个数据的平均值，就是该焊点的检测参数 V 。本检测是实时在线的，对于速度的要求比较高，因此，数据的排序效率尤其重要。根据是否可以借助外部辅助内存和随机存取数据，数据排序可分为内部排序法和外部排序法。我们试验所需排序的数据只有 100 个，能够容易的存放到内部存储器，随机存取，所以选用内部排序法。

表 3-2 几种排序法的效率比较

排序法	最差时间复杂度	平均时间复杂度	稳定性	空间复杂度
冒泡排序法	$O(n^2)$	$O(n^2)$	稳定	$O(1)$
快速排序法	$O(n^2)$	$O(n \cdot \log_2 n)$	不稳定	$O(\log_2 n) \sim O(n)$
选择排序法	$O(n^2)$	$O(n^2)$	稳定	$O(1)$
累堆排序法	$O(n \cdot \log_2 n)$	$O(n \cdot \log_2 n)$	不稳定	$O(1)$
插入排序法	$O(n^2)$	$O(n^2)$	稳定	$O(1)$
二叉树排序法	$O(n^2)$	$O(n \cdot \log_2 n)$	不一定	$O(n)$

内部排序法有交换式、选择式和插入式排序法三种^[44]。交换式排序是运用数据值比较后，依判断规则对数据位置进行交换，以达到排序的目的，其可分为冒泡式排序法和快速排序法；选择式排序是从欲排序的数据中，按指定的规则选出某一元素，经过和其它元素重整，再依原则交换位置后达到排序的目的，其包括选择排序法和累堆排序法；插入式排序是对于欲排序的元素以插入的方式寻找该元素的适当位置，以达到排序的目的，也可分为插入排序法和二叉树排序法。这些排序方法的效率比较见表 3-2。

这些排序方法各有其优缺点，难以评价其好坏。排序方法的选用应视具体场合而定。一般情况下考虑的原则有：(1)待排序的记录个数；(2)记录本身的大小；(3)关键字

华中科技大学硕士学位论文

的分布情况；(4)对排序稳定性的要求等。快速排序目前被认为是最快的一种排序方法，本方法所采用的也就是快速排序法。

快速排序是从冒泡排序改进而得的一种“交换”排序方法。它的基本思想是通过一趟排序将待排序记录分割成相邻的两个区域，其中一个区域中记录的关键字均比另一区域中记录的关键字小（区域内不见得有序），则可分别对这两个区域的记录进行再排序，以达到整个序列有序。表 3-3 是对表 3-1 的数据进行快速排序后的结果。

表 3-3 对焊点 P 的采集数据进行排序

170	2309	4249	5991	6006	6007	6023	6056	6089	6141
6189	6198	6212	6217	6278	6279	6291	6298	6300	6300
6301	6304	6307	6309	6310	6310	6318	6319	6319	6322
6328	6328	6330	6330	6331	6331	6336	6337	6338	6339
6339	6339	6339	6339	6339	6341	6341	6341	6341	6341
6340	6343	6344	6344	6344	6345	6345	6345	6346	6346
6347	6347	6348	6348	6348	6349	6349	6350	6350	6350
6350	6350	6350	6350	6351	6351	6351	6351	6351	6354
6357	6359	6360	6379	6379	6380	6387	6399	6399	6408
6420	6428	6578	6578	6631	6633	6783	6791	7001	8238

对完成排序的数据，取中间的 50 个，求其平均值，可得到焊点 P 的检测参数 V_p 。在本例中，可计算 V_p 值为 6340。

3.3.3 检测标准的确定

当然，仅仅一个合格焊点的检测参数不足以确定这批产品的检测标准。一般而言，需要对一批合格焊点的检测参数进行分析，以确定相应的检测标准。这批合格焊点的个数可以是 30 个，也可以是 50 个，该数值由用户根据实际情况，在软件的程序里设定。这批数据的分析过程称为该产品的学习过程。

表 3-4 是对一批产品进行学习，依次记录 30 个合格焊点的检测参数所得的数据。

表 3-4 某批焊点的检测参数

6308	6311	6344	6329	6324	6322	6319	6336	6339	6342
6344	6317	6332	6336	6340	6345	6233	6347	6351	6327
6325	6339	6329	6325	6338	6315	6306	6318	6339	6327

这批焊点的检测参数，从理论上讲，应该是服从正态分布的。但是，在实际工业生产中，有很多因素影响检测参数的数值，如焊盘上的污染情况、焊线的污染情况等等。并且，基于实时检测的时间考虑，我们只是取这些检测参数的最大最小值，作为检测范围的边界。这样，该批产品的检测范围就是 (V_{\min}, V_{\max}) ，后续焊点的检测参数在该范围内，我们就认定该焊点没有断线。

值得注意的是，由于芯片上的焊盘 Pad 与 PCB 板上的引脚 Lead 材质不一样，受污染的情况不一样，故相应的第一焊点与第二焊点的检测标准一般有较大差别，需要分开学习。这样，特定产品的学习结果就有四个数据，即 Pad 检测参数的最大值和最小值，Lead 检测参数的最大值与最小值。应用学习结果进行检测操作时，若某焊点的检测参数不在相应的 (Pad 或者 Lead) 检测范围内，则表明该焊点断线，报警识别。

3.4 实时检测系统的实现

基于数据采集卡的统计性检测方法最显著的优点在于它的实时在线性以及硬件低廉性。其实时在线的检测精度高，速度快，保证了键合加工产品的质量。并且，其硬件低廉，可以很方便的把该检测系统移植到市面上的一些全自动引线键合机器上。下面就该检测系统的硬件实现及软件模块设计进行详细的介绍。

3.4.1 系统硬件实现

基于数据采集卡的统计性检测方法，其硬件构成是在全自动引线键合机原有的硬件^[45]（运动控制卡和超声发生器）基础上，添加了一个数据采集卡和一个简单的滤波器。其系统构建如图 3-2 所示。

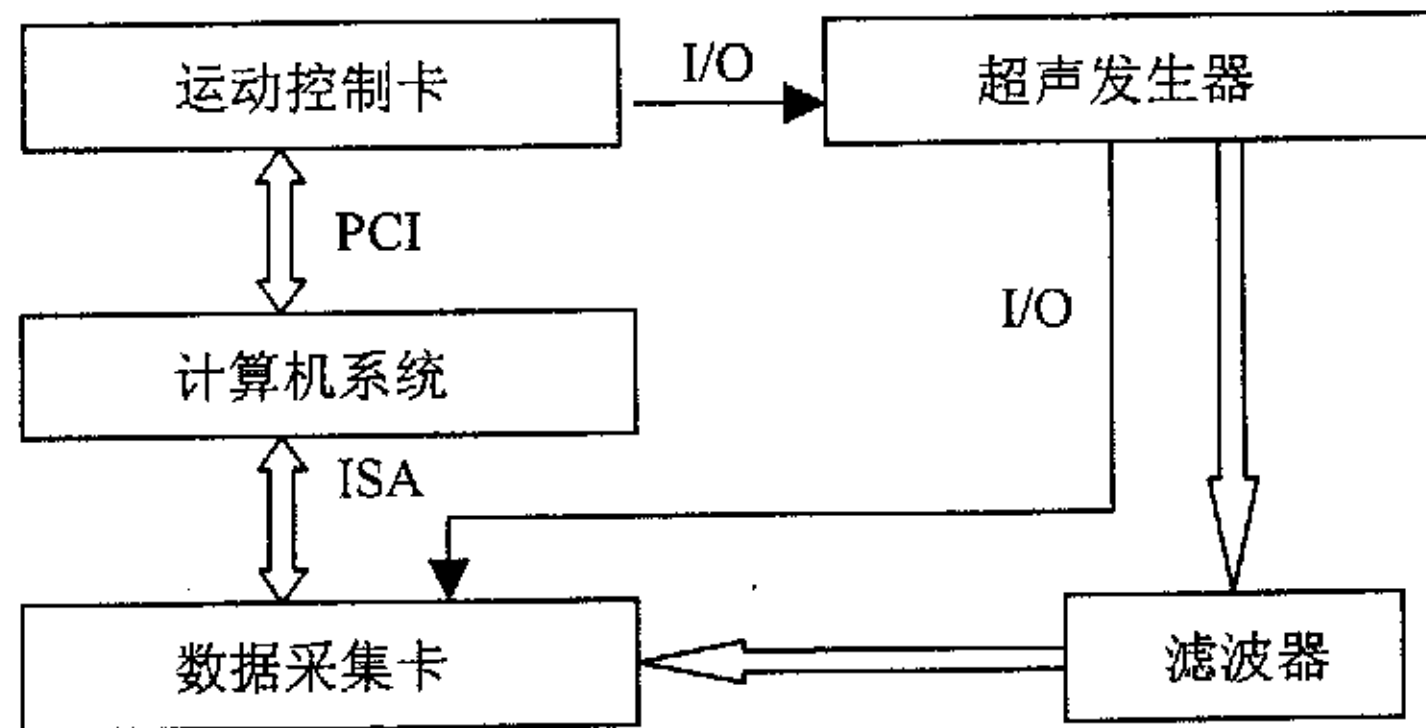


图 3-2 系统构建图

(1) 运动控制卡的选用

在传统的运动控制装置中，一般采用微机或单片机作为下位机来实现位置控制，外围电路复杂，计算速度慢，从而导致了控制精度不理想。随着先进制造技术的发展，对机电设备的运动控制提出了新的要求，如在高速数控机床、机器人等控制系统中，要求实现高速度和高精度的位置伺服或轨迹跟踪控制，以获得控制系统的高精度和高效率^[46]。

以 DSP 为核心的多轴运动控制卡正越来越广泛地被应用在运动控制系统中。将多轴运动控制卡插在工控机的 ISA 或 PCI 扩展槽上，就可以组成高精度运动控制系统。位置反馈信号的采集，闭环控制计算及控制量的输入，均由运动控制卡完成，极大地提高了运算速度和控制响应速度，将工控机的资源从繁琐的数据采集和计算中解放出来，从而可以更好地实施整个控制系统的管理。

本系统所借助的全自动引线键合机器需要同时控制多轴联动，故选用了美国 Galil 公司的 DMC-8088 多轴运动控制卡。DMC-8088 是 Optima 系列中 PCI 总线的一种产品，是 Galil 系列比较新的一种多轴运动控制卡，适用于 PC 机中的一个 PCI 插槽。它可应用于 8 轴控制，允许控制步进与伺服电机的任意组合使用。任何模式的运动都可以编程实现，包括直线和圆弧插补、轮廓、电子齿轮、电子加工和多轴联动控制。用直观易懂的命令及全套支持软件工具（如 WSDK 伺服调整、分析、ActiveX 针对 VB 用户及 C-Programmers）使得应用编程异常简单。

DMC-8088 具有以下特性^[47]：接收 12MHz 伺服编码器反馈信号，3MHz 步进电机命令（脉冲+方向）；带速度及加速度前馈、积分限制、Notch 及低通滤波器的 PID，采样周期 62.5us/轴；运动方式：JOG，PTP 定位，轮廓，直线、圆弧插补，电子齿轮，

ECAM; 多任务: 8 个应用程序同时执行; 4M 非易失存储器存储应用程序, 变量, 阵列; 4M RAM; 双编码器反馈, 回零, 正、反向限位输入接口; 16 位的通用 I/O; 8 通道通用模拟输入 ADC 12 位 (16 位可选); 可配置 I/O: 64 点; 高速位置锁存及比较 (0.1us); DMA/第二 FIFO, 存取状态和参数; 无刷伺服电机正弦波换向控制。

(2) 超声发生器

超声波系统由两大部分组成: 一个是超声波换能器 (或称超声波振头), 将超声波发生器提供的电信号转换为机械振动; 另一个是超声波发生器, 其实质是一个功率信号发生器, 产生一定频率的正弦 (或类似正弦) 信号^[48,50]。超声波发生器是利用传统的 220V 交流电压, 经过整流、滤波, 转换到功放电路进行信号放大, 最后输出高频高压的交频振动电压加在超声换能器两端。换能器的作用就是通过压电片, 将交频振动的电压转换为压电片沿厚度方向纵向高频的伸缩, 从而辐射出所需的超声振动能。

超声发生器的原理可用图 3-3 来说明^[51]。首先由信号发生器来产生一个特定频率的信号, 这个信号可以是正弦信号, 也可以是脉冲信号。这个特定频率就是换能器的频率。一般超声波设备中使用到的超声波频率为 25KHz、28KHz、35KHz、40KHz 和 100KHz 等。

功率放大器可有多种形式, 如电子管甲类放大器、甲乙类放大器, 晶体管甲类或乙类放大器 (均属于模拟式), 晶体管开关式放大器等。功率一般从 50W 到 5000W 不等。由信号发生器产生的频率信号经过功率放大器后需经过阻抗匹配, 使得输出的阻抗与换能器相符, 推动换能器将电信号转换为机械振动。

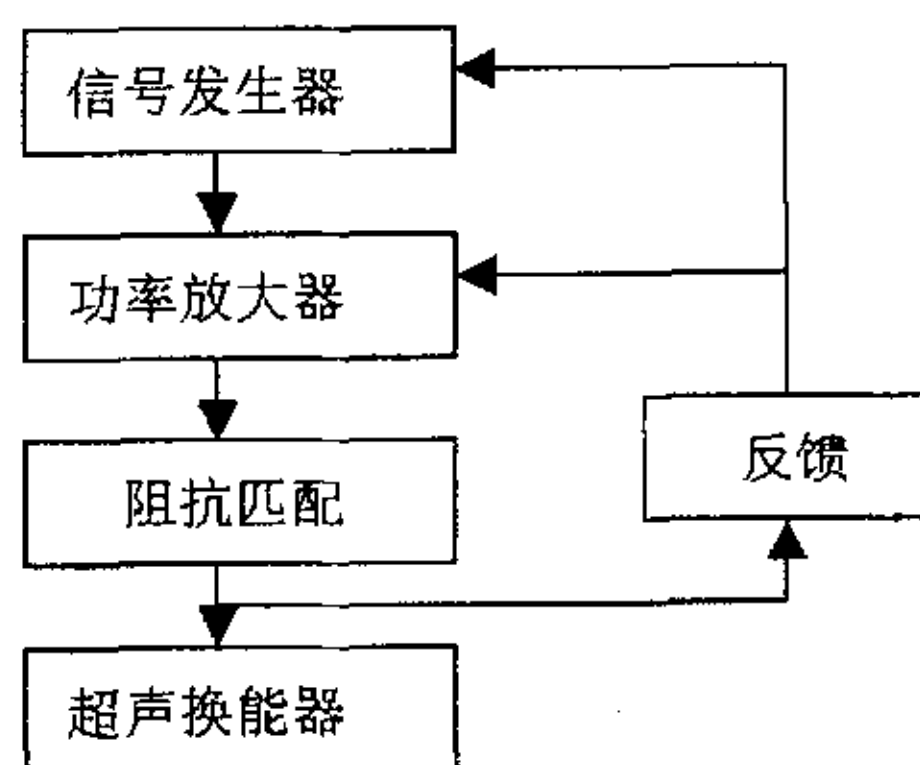


图 3-3 超声波发生器原理图

比较完善的超声波发生器还应有反馈环节, 主要提供两个方面的反馈信号: 第一个是提供输出功率信号。我们知道当发生器的供电电源发生变化时, 发生器的输出功率也会发生变化, 这时反映在换能器上就是机械振动忽大忽小。若要稳定输出功率, 就需通过功率反馈信号相应调整功率放大器, 使得功率放大稳定。第二个是提供频率

跟踪信号。当换能器工作在谐振频率点时，其效率最高，工作最稳定，而换能器的谐振频率点会由于装配原因和工作老化而改变。当然，这种改变的频率只是漂移，变化不是很大，频率跟踪信号可以控制信号发生器，使信号发生器的频率在一定范围内跟踪换能器的谐振频率点，让发生器工作在最佳状态。

(3) 数据采集卡的选用

数据采集，就是把外部信号和数据采入计算机，并加以处理，然后输出。数据采集的工作一般由数据采集卡来完成。数据采集卡是测试系统的核心元件，决定着系统的性能，应该具有以下特性：长时间的连续数据采集能力；可编程增益的能力；抗混叠滤波的能力；适合的采样频率和电压分辨率。

采样频率，即采样周期的倒数，是表示采样快慢的物理量，一般表示每秒采样多少个数据点。根据 Nyquist 采样定理，保证所采集的信号不失真的必要条件是采样频率应大于信号最高频率的两倍以上，即 $f_s \geq 2 \times f_{\max}$ ， f_s 是采样频率， f_{\max} 是信号最高频率。实际应用中，一般取采样频率最小为 $f_s \geq 2.5 \times f_{\max}$ ，而在工程中一般取 $f_s \geq 6 \sim 8 \times f_{\max}$ 。

采样频率的控制，有三种方式：内部软件触发 (Soft Polling)，通过 I/O 指令实现；由 8254 定时器芯片分频产生的内部定速时钟 (Timer Pacer) 控制；外部时钟 (External CLK/Trig) 控制。软件触发最为简单、易用，但无法精确控制采样时序，适用于对时序要求不甚严格的场合，如采集 DC 信号；内部时钟能够精确控制采样时序，但无法保证与外部信号严格同步，但一般应用（无论时域还是频域）都能够满足要求；外部时钟最为灵活，能够满足特殊应用的需求。

数据采集卡的选用在整个硬件选用的过程中占据很重要的位置。因为它不仅关系到与其他硬件设备之间的性能匹配，而且还涉及到应用程序开发的难易程度，以及应用环境的具体要求。在本系统中，我们选用了研华科技公司 PCL-812PG 增强型多功能数据采集卡。

PCL-812PG 是一款 ISA 总线的半长卡，它能够为 PC/AT 及其兼容系统提供五种最需要的测量与控制功能。这些功能包括：A/D 转换，D/A 转换，数字量输入，数字量输出及计数器/定时器功能。这种卡的高端特性使它非常适合要求低成本、高速的 12 位数据采集。并且，该卡还具有完整的软件支持，是工业和实验室环境下的数据采集、过程控制、自动测试和工厂自动化等应用中的理想选择。

PCL-812PG 采集卡具有如下特性^[52]：AT 总线；16 路单端输入；双极性；可编程增益（5 级增益 x1, x2, x4, x8, x16）；板上采样保持；两个 12 位单片乘法模拟输

出通道；16路数字输出通道；16路数字输入通道；3个可编程16位向下计数器；可编程采样速率，DMA传输模式下最高到100KHz；三个A/D触发模式：软件触发，可编程定时器触发和外部脉冲触发；AT中断IRQ能力(最高9级IRQ都是跳线可选的)；集成DC-DC转换器，提供稳定的模拟电路电源；37芯D型接口；小尺寸，半长PCB。

3.4.2 软件模块设计

本系统的软件设计选择 Microsoft Visual C++ 6.0 作为开发工具，以 C++ 作为编程语言，采用自顶向下的方法逐步细化、分层设计。软件的每个模块对应系统的一个功能，划分明确。统计性检测系统的软件模块划分如图 3-4 所示。

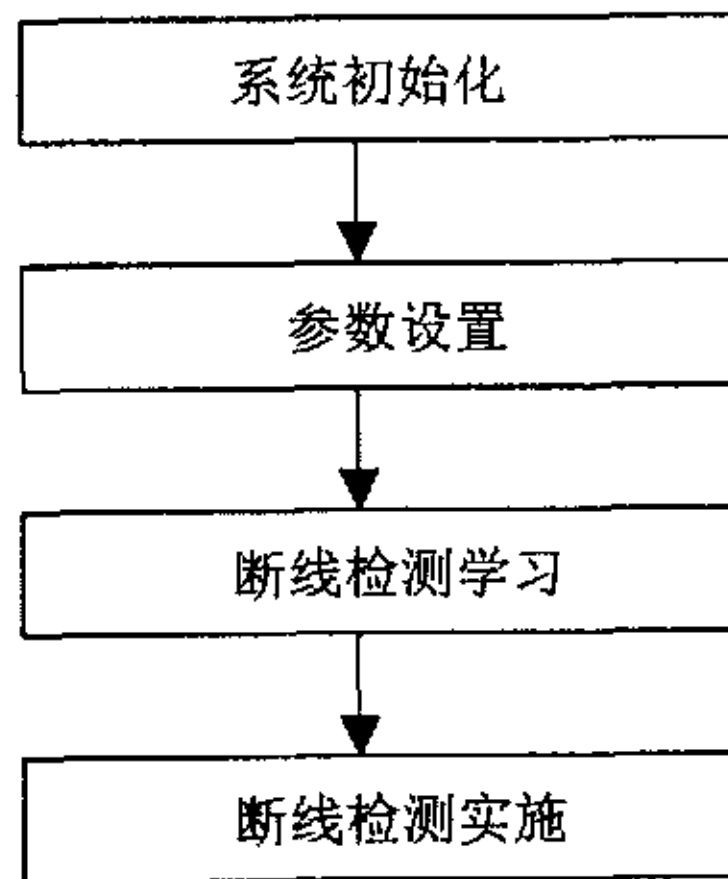


图 3-4 统计性断线检测的软件模块设计

系统初始化模块。这个模块用来连接全自动键合机器的其他软件模块，一般可完成机器示教信息的确定，以及焊点键合动作的准备工作。

参数设置模块。该模块提供了五个参数的设置操作，其分别是第一焊点（一般为 Pad）的上限，第一焊点的下限，第二焊点（一般为 Lead）的上限，第二焊点的下限，以及焊点学习的数目。焊点学习的数目由用户设定，可以是 30 个，也可以是 50 个，数目越大，其确定的检测标准越精确，但学习时间会增长。第一、第二焊点的上下限的设置是由检测参数的学习完成后，系统自动设置的，但用户可以根据先验知识进行适当的修改。

断线检测学习模块。这一模块是整个检测实施的关键，学习的结果直接影响着检测系统的准确率。对于一批产品，其相应的第一、第二焊点的材质与连接方法都一样，从这批产品中选取一定数目的合格焊点进行学习，进而确定这批产品的检测规则，以便于应用规则对整批产品进行断线检测。

学习的过程也分为两个步骤。第一步是用数据采集卡对一个焊点进行连续的数据采集，这里所采集的是键合操作时超声发生器的输出电压值，采集 100 个数据，存储在数组 Data[100] 中。然后分别对这 100 个数据进行数据剔除操作，数据排序与分析操作，取中间的 50 个数据，计算这个焊点的检测参数 V ，这样就完成了一个焊点的学习过程。第二步，连续完成一定数目（由焊点学习数目这一选项设定）的焊点学习，然后计算出这批产品的检测范围，确定其检测规则。

断线检测实施模块。这个模块用来进行键合操作的实时检测。每键合操作一个焊点，计算出该焊点的检测参数 V ，然后与设置的检测范围进行比较。检测参数在检测范围内，则合格；否则，报警识别。

3.5 本章小结

本章介绍了一种基于数据采集卡的统计性检测方法，该方法利用数据采集卡采集超声键合时 UG 的输出电压，处理与分析所得的数据，进而确定检测标准，实行实时在线检测。本章对该方法的检测原理进行了深入的探讨，重点阐述了所采集数据的处理与分析、以及评判标准的建立，进而讨论了该检测系统的硬件实现及软件模块设计。数据的采集、处理与分析是检测方法实施的关键，数据采集的适当与否，相应数据处理方法的好坏，直接决定着检测方法的精度与性能。

本检测方法是基于超声键合机器原有的部件，外加一数据采集卡所实现的，成本比较低廉。学习一定数量的焊点、确定检测标准后，就直接应用该标准去衡量后续焊点的断线与否，精度高，速度快，满足实时在线检测的需要。

4 机器视觉在线检测

4.1 前言

随着电子产业的不断发展，市场已经对半导体封装提出了越来越高的要求。半导体封装技术正在向高密度、高速度、高可靠性方向持续发展，一些实现半导体封装高速度、高可靠性的关键技术正呼之欲出。尤其在应用引线键合技术实现芯片的 Pad 与 PCB 的 Lead 引线键合时，越来越密的 Pad 间距、越来越细的引线、越来越小的焊点都给人工视觉检测带来了很大的困难；同时，生产的高速性也对一般的 off-line 检测提出了更高的要求。

利用机器视觉系统进行自动的在线检测可以解决上述的问题。机器视觉系统一般采用 CCD 照相机摄取检测图像并转化为数字信号，再采用先进的计算机硬件与软件技术对图像数字信号进行处理，从而得到所需要的各种目标图像特征值，并由此实现模式识别，坐标计算等多种功能。然后再根据其结果显示图像，输出资料，发送指令，配合执行机构完成位置调整、好坏筛选、资料统计等自动化流程。与人工视觉相比较，机器视觉的最大优点是精确、快速、可靠以及数字化。目前国内，Wire Bonding 中焊点的质量检测和控制大多采用 off-line 检测方式，或者对其进行人工抽查。由于受人工的主观因素，以及人工视觉的局限性和易疲劳性影响，这样的检测过程往往不可靠，耗时长，成本高。然而，一个自动的视觉检测系统可以使得检测过程高度可靠、连贯。在将来，随着超大规模集成电路封装密度的进一步提高，检测过程全自动化将是大势所趋。

本章所提出的视觉检测方法，充分借鉴前人的研究经历，同时，也结合国内一种全自动引线键合机器的实际情况，试验将证明，该方法是可行的。

4.2 检测方法的研究

在第二章已经分析过引线键合产品常见的外形失效方式，也就是以下几种：(1)断线（焊点尾部的焊线断裂）；(2)焊点位置偏移（焊点的中心严重偏离 Pad 的中心）；(3)焊点的形状、大小和高度不规范；(4)焊点线尾（Pigtail）过长；(5)焊点根部存在裂纹。本方法是借助引线键合机器的现有硬件，用普通的环形光源和同轴光源获取放

大 40 倍的焊点 2-D 图像, 利用图像处理和模式识别技术, 在线自动检测焊点的位置偏移、断线和线尾过长等缺陷。本方法的特点就是硬件低廉, 只用普通环形光源和可放大 40 倍的 CCD 相机, 实时在线性好, 能满足实际生产中的需要。

市场上的电子产品, 种类繁多, 功能各异, 成本也随之高低不同。不同产品封装要求的不一样, 具体到工艺上, 其芯片的大小、Pad 的大小、焊线的直径、焊点的质量也会有很大的差异。本方法考虑到上述这些情况的出现, 力求在方法中兼顾不同的规格需求, 特在方法实现的开始, 设计一个环节, 允许客户根据自身的需求, 调整检测标准, 继而自动进行产品的质量检测。

4.2.1 建立 ROI 区域

芯片上虽然有一些特殊形状的 Pad, 但是总的来说是方形和条形, 外形变化比较简单而且比较有规则。对同一种类的 Pad, 首先选定其中一个 (一般选择一个比较清晰, 边缘信息没有破坏的 Pad), 作为模板, 进行学习, 并记录这个 Pad 的尺寸信息, 保存该模板。在引线键合机进行引线键合操作之前, 系统已经记录每一个需要键合的 Pad 的中心位置, 本方法根据这些 Pad 的中心位置及尺寸信息, 在 Pad 的周围建立一个 ROI 区域 (感兴趣区域), 作为图像处理操作的对象。该 ROI 区域包含了一个 Pad 的完整焊点信息。

如图 4-1 所示, 系统已经记录了 Pad 的中心位置 (图中的叉点为该 Pad 的中心位置, 该点的坐标值已经在机器程序示教的操作中记录), 知道了其键合引线的方向是向上, 还有其尺寸信息 (高为 h 、宽为 w)。以 Pad 的中心位置为中心, 把 Pad 的高 h 上下各扩展 0.5 倍, 把宽 w 左右各扩展 0.25 倍, 就得到一个 ROI 区域。后续的图像处理操作都以该区域为对象。

4.2.2 确定检测规则

鉴于本方法直接利用全自动引线键合机上现有的硬件环境, 对芯片上的焊点实现在线检测, 因此, 对于芯片焊点的视觉检测操作, 其主要内容为: 焊点是否断裂和脱落; 焊点的位置是否在可键合区域内; 焊点的形状和大小是否合乎规范; 焊点的线尾长度是否合乎规范等等。

在 ROI 区域建立以后, 其焊点示意图如图 4-2 所示。在图中, 用 A、B、C、D 来标定四个区域: 区域 A 表示 Pad 内焊点的面积; 区域 B 表示整个 Pad 可键合区域的面积; 区域 C 表示 Pad 外的部分焊线的面积; 区域 D 表示 Pad 外线尾部分的面积。

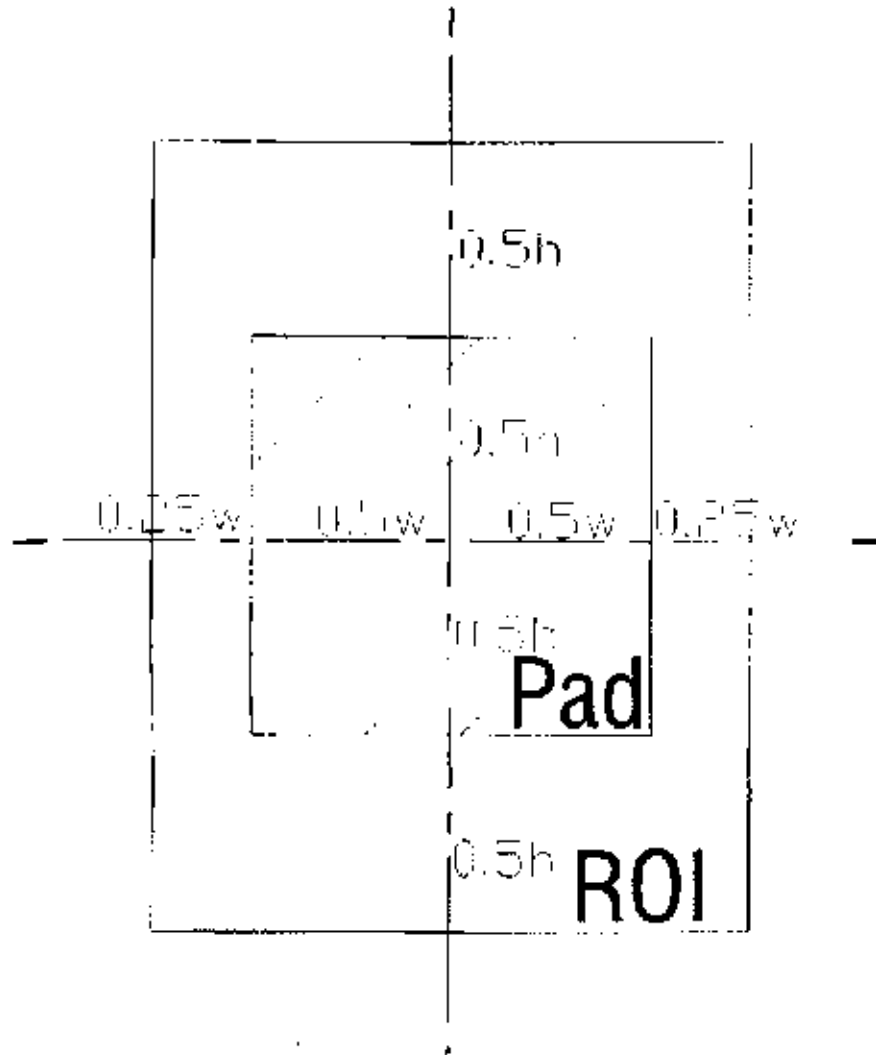


图 4-1 Pad 与 ROI 尺寸 (w: 宽, h: 高)

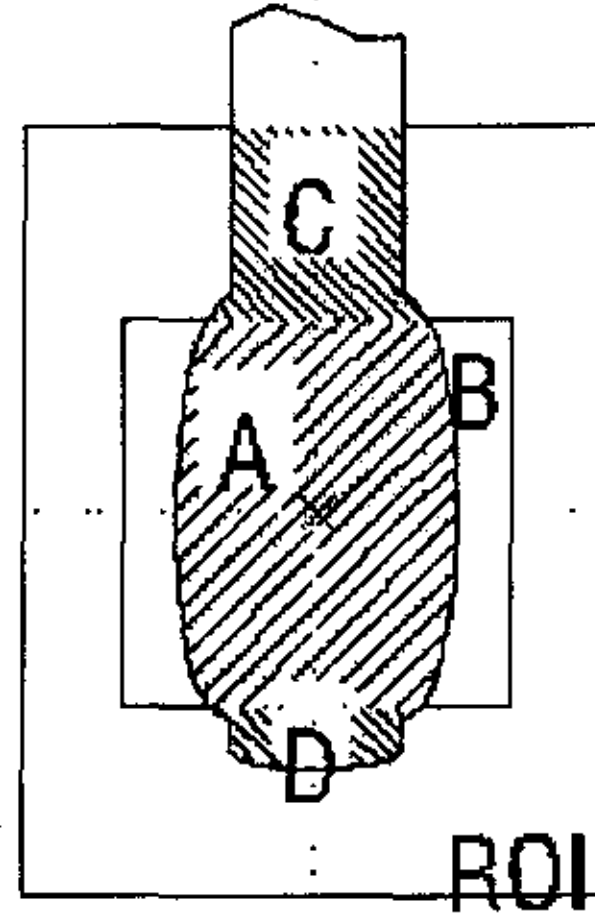


图 4-2 焊点示意图

本方法就是要标定这些区域的面积，根据这些面积比值的大小来评定焊点的质量。现设定三个检测参数：

$$\text{Ratio1} = A / B \quad (4.1)$$

$$\text{Ratio2} = D / A \quad (4.2)$$

$$\text{Ratio3} = C / A \quad (4.3)$$

Ratio1，代表焊点面积与可键合区域面积的比值，用来衡量焊点的大小、焊点的位置偏移情况；Ratio2，代表线尾面积与焊点面积的比值，用来衡量焊点的线尾长度是否合乎规范；Ratio3，代表 Pad 外引出焊线的面积与焊点面积的比值，用来判断焊线是否断线或脱落。

在检测操作的开始，需要设定这三个检测参数的取值范围。然后在实际检测时，逐个计算出每个焊点的检测参数，进而评定焊点的质量。当然，这三个检测参数的取值，必须根据操作加工的要求，并结合键合机器实际系统的精度。一般来讲，检测参数取值范围的选择的合适程度，决定了该方法的检测效果。值得注意的是，有些情况下焊点的线尾在 Pad 内，即面积 D 为零值，Ratio2 也为零值，此时的焊点也被客户认为合乎要求。

4.3 关键图像处理技术

高质量的图像是后续工作进行的基础。可以说，获得了好的图像，以后的工作就可以事半功倍。影响图像质量的因素很多，如光源的光照不均，焦距不适当，以及噪声的影响。这些因素可能会严重影响图像质量，以至于后续的图像处理工作无法进行。因此，首先对图像进行预处理，希望得到一幅清晰的图像。

4.3.1 图像预处理

图像噪声一直是一个很困扰的问题^[53]。图像的去噪处理也称图像的平滑处理，通常有空域法和频域法两种。频域算法比较复杂，而基于空间域卷积的平滑处理，或非线形处理的中值滤波，只对低噪声情况有一定效果，对重噪声污染效果甚微。噪声滤除对自动视觉检测之所以很重要，是由于机器视觉系统的重要特点是高效率与可靠性。机器视觉一般对最终目标多执行二值化分割处理，在分割过程中若噪声过大，将影响目标识别的可靠性，强制滤除噪声，如较大窗口中的中值滤波或卷积平滑及采用较高的二值化分割阈值，往往又极大损害了图像信号本身。因此，对于特定的检测对象，应根据其本身特有的性质，如灰度、纹理、尤其是形态特征，研究相应的噪声滤除方法，寻求具有自适应能力的、充分兼顾到图像局部特征的算子，对图像目标本身加以保护，对噪声信号则加以彻底滤除。

要找到这样一种通用的自适应噪声滤除算法是很困难的，但对于特定的机器视觉系统来说则是有可能的。首先检测对象种类有限，而检测目标（如产品缺陷）的特征可能相对简单，因此根据所积累的有关检测对象的某些先验知识，研究出适用于特定机器视觉系统的有效图像预处理方法是可行的。

考虑到本系统自动检测的速度问题，对于所采集的芯片图像，用简单的灰度偏移转换（也称为线性点运算）即可获得适合后续处理的清晰图像。其灰度偏移转换如下：

$$\text{new} = \text{Gain} \times \text{old} + \text{Offset} \quad (4.4)$$

其中 new 为处理后的图像像素的灰度值；old 为处理前的图像像素的灰度值；增益 Gain 和偏移 Offset 的值根据 Wire Bonder 的图像采集效果试验获得。一般选择增益 Gain 大于 1，使得输出图像的灰度级范围扩大。即通过比例因子 Gain 的作用，将输入图像较窄的灰度级范围扩大到可显示灰度级的更大部分甚至整个范围。另一方面，比例因子 Gain 还使得任意两个灰度级之间的差值扩大了 Gain 倍，从而增加了图像的对

比度。而对于偏移 Offset, 一般取 Offset 大于 0, 这样可使所有象素的灰度值上移, 从而使图像的亮度得到增加。

图 4-3 为预处理前的图像, 焊线的灰度与背景的灰度差别不大, 故很难进行后续的工作。图 4-4 为灰度偏移后的图像, 该图像中的焊线与背景的灰度已经能够很容易的区分了。本试验中 Gain 取值 1.7, Offset 取值 30。



图 4-3 预处理前的图像



图 4-4 预处理后的图像

4.3.2 模板匹配

模板匹配就是用储存在计算机中的模型去识别输入的未知视觉模式, 并最终建立对输入的解释^[54]。这里解释是指计算机模型与外部世界的对应性。也可以说, 模板匹配是对已有的模板与被检测物体进行分析, 对两个图形的相似程度进行度量, 并返回图形之间的相似度值, 通过相似度值来判断模板与被检测物体是否相同或相似。匹配时采用的方法应满足对平移、旋转、比例变化等几何变换具有不变性, 使两图形的相似度可度量且易于计算, 根据匹配算法得出的判断与人的直觉相吻合, 计算时间较少等要求。

在图 4-4 中, 背景区域、Pad 区域与焊线区域已经能够很好的区分, 但还需要按照图 4-2 的标准把 A、B、C、D 区域分割开来。首先, 记录图像 4-4 的平均灰度 Average 和最小灰度 Minimum, 以备后续的图像二值化之用。接着, 用先前保存的 Pad 模板在图像 4-4 中进行模板匹配, 以确定 Pad 的准确位置。

在这里, 是以一个 Pad 图像作为模板, 并将此模板与一系列位置上的图像的形状相似的子集进行比较, 最大匹配的位置作为 Pad 的位置。我们用一个相关性函数的标准化向量 r 来评价图像的形状相似性:

$$r = \frac{N \sum IM - (\sum I) \sum M}{\sqrt{[N \sum I^2 - (\sum I)^2][N \sum M^2 - (\sum M)^2]}} \quad (4.5)$$

上式中, I 代表图像子集, M 代表模板, N 是模板上像素的个数。当 r 值为最大时, 表明此时的图像子集与模板最大相似。记录此时的图像子集, 也就在 ROI 区域找到了 Pad 的具体位置信息, 如图 4-5 所示。

4.3.3 图像阈值与分割

图像分割是按照某些特性, 如灰度级、频谱、纹理等, 将图像空间划分为一些区域。在这些区域内部, 其特性是相同的或者说是均匀的, 两个相邻区域彼此特性则是不相同的, 其间存在着边缘或边界。图像分割从本质上来说是将图像中的像素按照特性的不同进行分类的过程。由于图像分割的效果直接影响到以后对物体图像的特征提取和检测的效果或精度, 因此图像分割是很关键的一步。

图像分割有很多方法, 一般方法为阈值分割、边缘检测和区域增长法。它们各自基于不同的图像模型, 利用不同的特征, 且使用范围和优缺点各不相同。至今, 还没有唯一的、标准的、普遍适用的方法。阈值分割和区域增长法是基于相似性原理, 将具有同一灰度级或相同组织结构的像素聚集在一起, 形成图像或景物中的不同区域, 该方法通常也称为基于区域相关的分割技术; 边缘检测是基于不连续性原理检测出物体的边缘, 将图像或景物分成不同的区域, 该方法通常也称为基于点相关的分割技术。

找到了 ROI 区域中的 Pad 的详细信息, 就可以把 Pad 区域从 ROI 区域中分割开来, 进而对分割开的图像实行进一步的阈值分割, 如图 4-6 及图 4-7 所示。



图 4-5 匹配后的图像

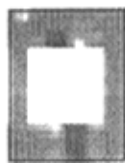


图 4-6 分割后的背景



图 4-8 阈值后的焊线



图 4-7 分割后的 Pad



图 4-9 阈值后的 Pad

图像的阈值分割是图像分割最常用的方法, 它是把图像灰度分成不同的等级, 然后用设置灰度门限的方法确定有意义的区域或欲分割的物体的边界。为了减少图像数

据和便于对图像进行识别, 需要将一幅多值图像转换为二值图像, 这称为图像的二值化处理。所谓多值图像是指具有多个灰度级的单色图像, 二值图像是只有黑白两个灰度级的单色图像。

图像二值化处理的方法比较简单, 在原图像的灰度范围内 $[f_{\min}, f_{\max}]$ 设定一个阈值 T (Threshold), 且 $f_{\min} < T < f_{\max}$, 然后令图像中所有灰度值小于或等于 T 的像素的灰度值都为 0 (黑像素), 所有灰度大于 T 的像素的灰度值都为 255 (白像素), 即可完成图像的二值化处理。图像的二值化处理中不可避免的要丢失图像中的很多信息。若阈值过小, 会提取多余的部分, 而阈值过大, 又会丢失所需的内容。因此, 阈值的选择是图像二值化处理中一个重要技术。

对图 4-6、图 4-7 所示的两个区域分别进行二值化处理。图 4-7 中, 焊线与 Pad 的灰度相差较大, 可取他们的平均灰度作为阈值 T_1 :

$$T_1 = \text{Average} \quad (4.6)$$

而对于图 4-6 所示的分割后的背景区域, 背景与焊线的灰度比较接近, 用简单的自动阈值方法难以有效的分离焊线信息。通过试验, 可取阈值 T_2 :

$$T_2 = 0.5 \times (\text{Average} - \text{Minimum}) + \text{Minimum} \quad (4.7)$$

区域阈值以后的图像如图 4-8 和图 4-9 所示。此时, 已经完全分离出了区域 A、区域 C 和区域 D。再对两幅图像分别进行 Blob 分析, 可获取这些区域的面积, 进而计算三个检测参数。

4.4 在线检测系统的实现

基于机器视觉的在线检测方法硬件低廉, 但检测的速度与精度能很好的满足实际生产的需要。该视觉检测方法不但可以进行产品焊点的形状与位置误差等外形失效检测, 还可以用来检测键合操作断线失效。下面就该检测系统的硬件实现及软件模块设计进行详细的介绍。

4.4.1 系统硬件实现

本系统中所需的硬件部分, 完全由全自动引线键合机自身提供。这样, 节约了硬件成本, 同时也能很好的满足检测的需要。本系统最主要由图像采集模块、图像处理模块和运动控制模块组成, 而图像采集与处理部分尤其重要。如图 4-10 的系统构建示意图所示, 图像的采集与处理又涉及到照明光源、CCD 摄像机、图像采集卡和图像处

理软件的选择。下面重点介绍这几个环节的设计或选择。

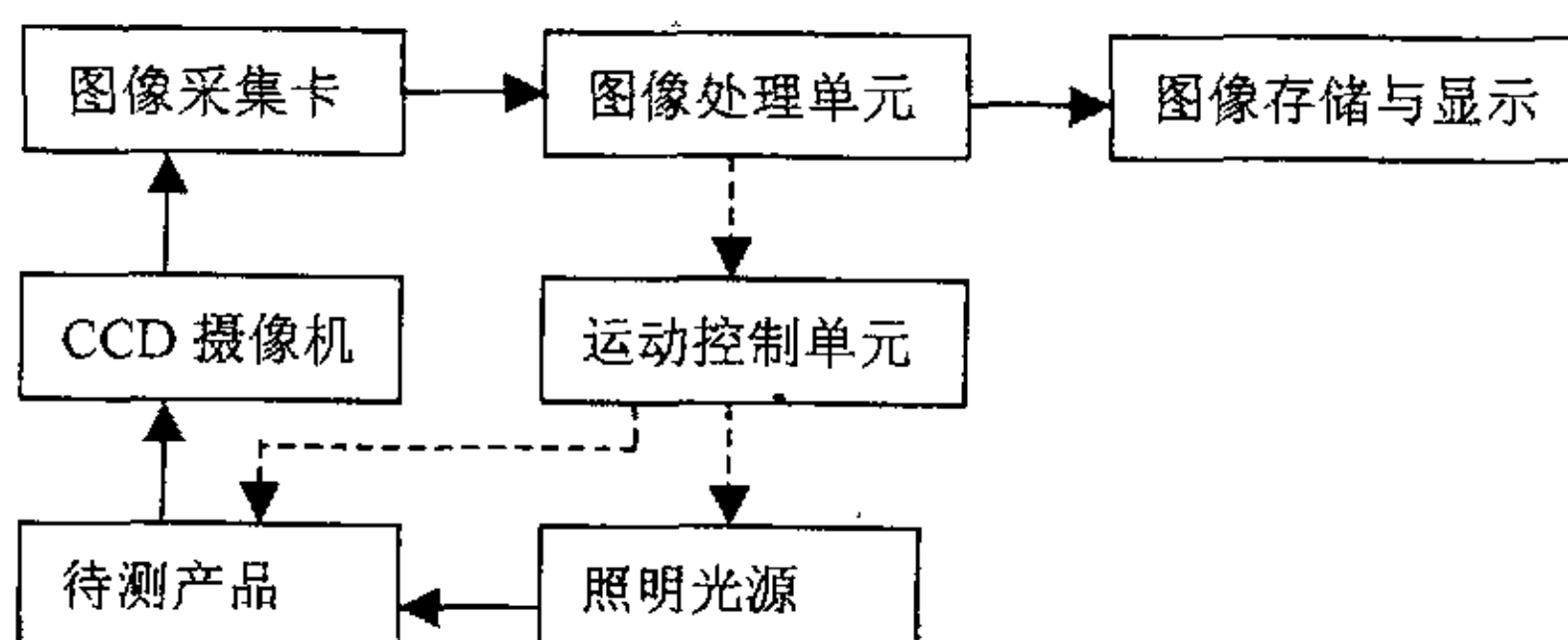


图 4-10 系统构建示意图

(1) 照明系统的设计

一个自动视觉检测系统的性能，与相应的硬件、软件、成像和摄像机技术息息相关^[55-57]。到目前为止，有关的硬件、软件、成像和摄像机技术都有了长足的进步，但是在自动视觉检测系统中，好的光源与照明方案并不是简单的照亮物体，其往往是整个系统成败的关键，起着非常重要的作用。性能优良的光源与照明方案，会尽可能地突出物体特征量，在物体需要检测的部分与那些不重要部份之间产生明显的区别，增加对比度。同时还会保证足够的整体亮度，其成像的质量不受物体位置变化的影响。采用适当的照明方式，能够提高系统精度，增强系统可靠性，减少系统响应时间。对于不合适的照明带来的影响，其后续图像处理的有关算法并不能够轻易的加以消除，因此，设计合适的照明系统，将有着事半功倍的效果。

一般来讲，自动视觉检测系统中照明方式的设计应该遵循这样两个原则^[58]：其一，确保被测部分的特征能与周围的背景清楚地区分开来。例如，使两者的灰度值的差别尽可能地大，尽量增强感兴趣区域的特征的边缘对比度等。人们从图像中获取信息，可以用透视、阴影、视差和个体经验等线索，而对于自动视觉检测系统，必须使用预先定义好的程序，例如滤波、图像减运算、边缘增强等技术才能从图像中找到所需的信息。因此，把待检测物体与背景区域清楚地区分开来，可以大大减少图像处理算法的复杂性，从而减少图像处理的运算时间，也减少了软件开发的时间和难度。其二，尽量屏蔽环境光线的影响。在实验室中周围环境光线是基本恒定的，而在工业现场则是一个时变的噪声，例如，在白天和晚上环境光线就会发生很大的变化。一般采用封闭的照明方式或者增强光照强度来屏蔽周围环境光线的影响。

常见的照明方式有结构光、逆光、环形光、暗场照明和散射等。结构光一般用在

需要提取物体表面特征的应用中。用结构光照明物体，观察物体对结构光的反射，就可以得到物体的三维形状的信息。同时，采用一定的结构光的设计，还可以使激光器产生均匀的照明光线，从而消除高斯光线带来的影响。逆光照明可以使背景一律变为白色而显现出物体的轮廓，成为一幅高对比度的图像。环形光源可以提供充足的无阴影的照明，在反射性物体的成像中很有用。暗场照明可以达到物体边缘较亮而背景较暗的效果，从而大大增强了图像的对比度，使物体容易与背景区分开来。光的漫射照明可以消除阴影，减少镜面反射，使一个区域得到均匀照明，还可以扩大照明光线的覆盖范围。

基于机器系统要求和硬件成本的综合考虑，在本系统中，我们采用了环形光源加同轴光源的照明方式。本照明方式能提供充足的无阴影的照明，弱化环境光线的影响，同时成本低廉，能够很好的满足本机器系统的需要。

(2) CCD 摄像机的选择

自动视觉检测系统中的图像是由 CCD 摄像机和图像采集卡一起工作抓取的。摄像机是按照一定的扫描规律通过光电转换器件将被摄物体的光信号转换成电信号并记录在磁带或其他介质上的设备。CCD 摄像机的核心是 CCD 器件，它是由具有光电转换功能的半导体器件组成一个面阵单元，每个半导体器件能够存储随景物变化而感受到的信号的电荷量，并能够在控制信号的作用下，将存储的电荷量按照一定顺序输出，形成电视信号^[59,60]。

对于 CCD 摄像机的选择，一般要考虑的是：选择线阵还是面阵；选择彩色还是单色；选择其检测范围和检测精度；选择其检测速度等。在一些应用场合中，要求在线检测，而且不能减慢生产线的速度。这时，就有一个允许的检测时间的限制。所谓的检测时间，应当包括送料时间，图像采集时间和图像处理时间。在有些场合只需要高速采集图像而不需实时处理，有时则需要高速采集且实时处理。要根据实际情况分配用于图像采集的时间。有一些技术可以改善检测速度：(1) 数字摄像机。可以提供比模拟摄像机快得多的图像采集速度，每秒可达几千帧。(2) MMX 技术。即采用支持 MMX 指令的 CPU 以及采用利用 MMX 指令的算法。对于有些处理运算可能会有 400% 的速度提高。(3) 图像采集硬件。例如可以采用具有可编程的 ROI 的图像采集卡，可以减少需要传输的数据量，用较少的数据也能很快的得到结果。(4) 采用更快的处理器。

在本系统中，自动键合加工时的视觉定位和自动视觉检测操作都需要应用 CCD 摄像机来采集芯片图像，检测精度高，速度快。同时，又要考虑到硬件的成本。因此，我们选择日本东京电子工业公司的 CS8630C。这款摄像机分辨率高，速度快，可以很好的满足系统的需求。

(3) 图像采集卡的选择

在实际的应用中,数字图像的采集一般由两种设备完成:模拟摄像机和数字化器,其中数字化器常采用在计算机中插专门的卡来完成,称为图像采集卡。图像采集卡又称视频捕捉卡(Video Capture Card),是视频卡的一种类型。图像采集卡完成的主要功能是把摄像机的模拟的视频信号转换为离散的数字量。数字化过程由采样和量化组成,采样是坐标空间的离散,量化是性质空间的离散。

图像采集卡的工作过程:接受从摄像机送出的视频信号。板上的高速 A/D 模拟转换电路将视频模拟信号转换为 8 位的数字信号,数字信号的值 0 对应于暗;255 对应于亮,数值在 0 与 255 之间,对应了不同的明暗情况。D/A 变换电路将图像实时显示在图像监视器上,通过软件可以控制在任何时候停止图像的刷新。

针对特定的检测需求,可根据卡的功能和性能参数来进行选择。例如,采用静态图像采集卡还是动态图像采集卡;是选择彩色卡还是单色卡;采用多少位数的彩色卡;根据测量速度和前端 CCD 摄像机的性能来决定选择具有多高采样频率的卡等等。然而,在实际的选择过程中,有一点十分重要,那就是卡的软件支持,因为是否具有一个优秀的开发平台对系统开发来说是一件十分重要的事。

我们选择了加拿大 Matrox 公司的 MATROX METEOR2/4,该款图像采集卡视频输入, VGA 输出,支持彩色图像的抓取,具有 256 级灰度的 768×576 象素阵列,同时采样频率高,能达到每秒 25 帧。并且,还有一个软件支撑平台: Inspector + MIL (Matrox Image Library)。

4.4.2 软件模块设计

本系统的软件设计选择 Microsoft Visual C++ 6.0 作为开发工具,以 C++ 作为编程语言,采用自顶向下的方法逐步细化、分层设计。本系统的每个模块都具有独立性,具体划分如图 4-11 所示。

检测规则的建立模块。引线键合机器是一种通用机器,其所加工的产品具有不同的尺寸、不同的精度要求。不同尺寸产品的加工靠更换夹具与材料来实现;而不同精度要求的产品加工则对应着不同的检测精度要求。本方法充分考虑到这个问题,使得检测具有很好的适应性。这里,检测规则的建立模块就是按照实际精度需求以及先验知识来设定检测规则。具体一点,就是在检测的开始,让用户设定三个检测参数 (Ratio1、Ratio2 与 Ratio3) 的取值范围。这些检测参数取值的适当与否直接影响着系统的检测精度。

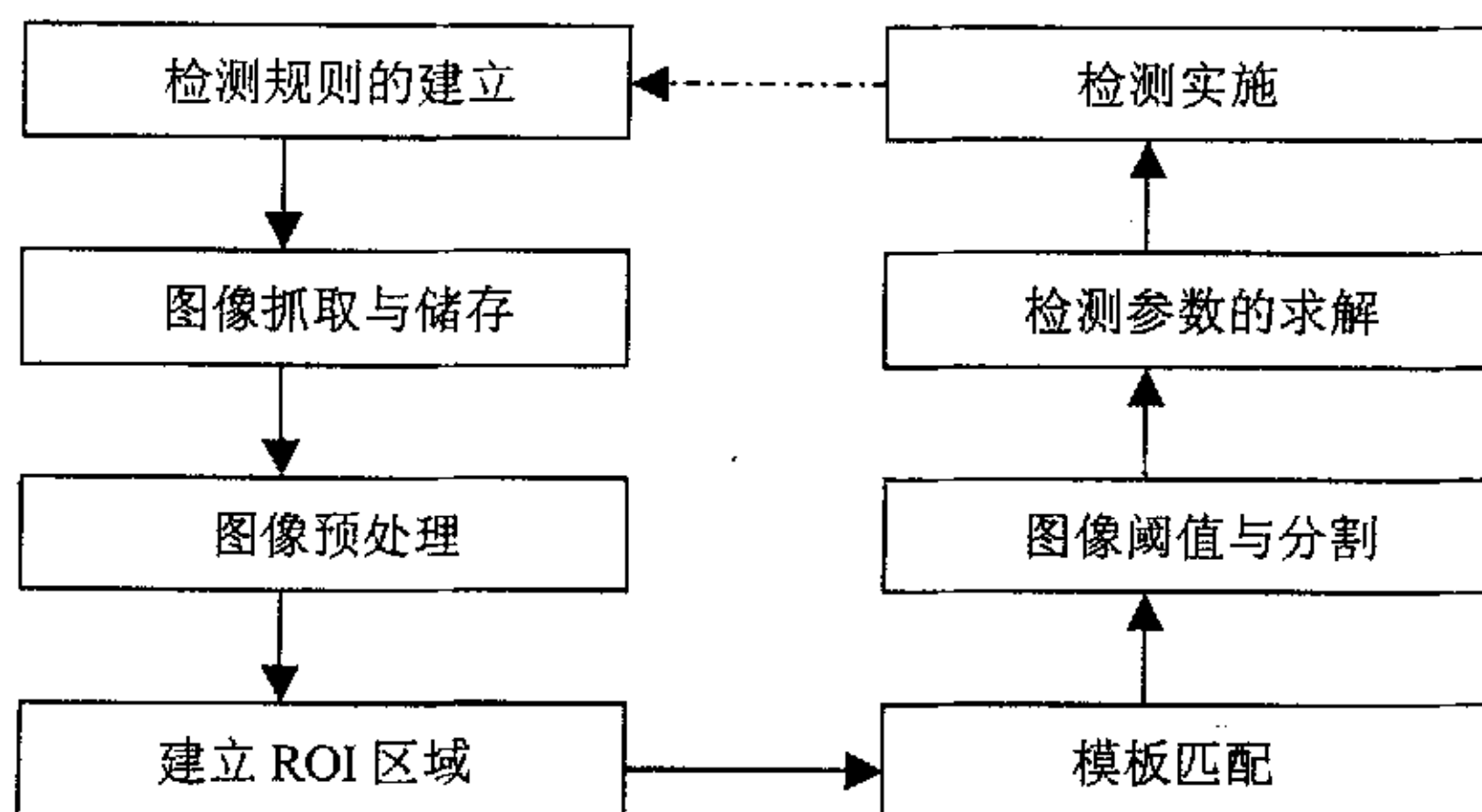


图 4-11 机器视觉检测的软件模块设计

图像的抓取与存储模块。本方法的实施是以对产品焊点的图像进行分析的结果为基础的，因此，产品焊点图像的抓取与存储显得非常重要。良好的图像效果能减轻后续图像处理负担，为整个系统赢得良好的精度与速度。图像的抓取是由 CCD 摄像机与图像采集卡共同工作实现的，用 Matrox 公司提供的支撑软件的函数来实现。MdigGrabContinuous 函数能保证连续抓取产品的焊点图像，速度是 25 帧每秒。

图像预处理模块。由图像采集卡抓取的产品焊点图像，其图像比较模糊，其特征区域与背景区域的差别不大，不能很好地突出图像的特征。图像预处理的目的是把图像的特征区域与背景区域清楚地区分开来，这样就可以大大减少图像处理算法的复杂性，从而减少图像处理的运算时间，也减少了软件开发的时间和难度。考虑到图像预处理的速度问题，这里应用的处理是图像的灰度偏移转换，也称为线性点运算。

感兴趣区域的建立模块。抓取的产品焊点图像是比较大的，一般能包含好几个键合点的信息。我们对产品焊点进行检测时，只能一个一个的处理。因此，我们提出感兴趣区域（ROI 区域）的概念，这样，一个感兴趣区域就仅仅包含一个焊点的完整信息。减少了图像处理的区域，就提高了检测的速度。焊盘中心点的坐标值已经在键合机器的软件系统中记录，我们还可以了解到焊盘的键合引线的方向以及尺寸信息。以 Pad 的中心位置为中心，把 Pad 的高 h 上下各扩展 0.5 倍，把宽 w 左右各扩展 0.25 倍，就得到一个 ROI 区域。

模板匹配模块。模板匹配的目的就是从感兴趣区域中找出键合点的焊盘区域，以便于后续的处理。这里，选择一个 Pad 图像作为模板，并将此模板与感兴趣区域里的

华中科技大学硕士学位论文

一系列形状相似的子集进行比较,把最大匹配的位置作为 Pad 的位置。Matrox 软件里提供的 MpatFindModel 函数可以用来进行模板的匹配。

图像阈值与分割模块。阈值与分割的目的在于把焊盘区域、键合区域、线尾区域、以及外部焊线区域等分割开来。阈值的选择是图像二值化处理中一个重要技术。在这里,我们使用了局部阈值法,把焊盘区域的阈值处理与焊盘外部区域的阈值处理区分开来,便于阈值的选择,保证阈值处理的质量。Matrox 软件提供了 MimBinarize 函数来进行阈值处理。

检测参数的求解模块。这个模块就是把上一模块区分开的几个区域进行面积计算,并进一步计算出三个检测参数,也就是这几个面积的比值。

检测实施模块。这个模块用来进行键合操作的在线检测。把求解的检测参数与设置的检测范围进行比较,区分与统计合格与不合格的焊点信息。

4.5 实验与结论

在引线键合产品中,随机选取 4 块 PCB,每块 PCB 上再随机选取 5 个焊点,然后用上文所构建的系统对这 20 个焊点进行检测。根据焊点图像中焊线与 Pad 的尺寸关系,以及控制合格焊点的经验,我们提出的检测标准为:

$$\text{Ratio1} > 0.4 \text{ 且 } \text{Ratio1} < 0.75 \quad (4.8)$$

$$\text{Ratio2} < 0.2 \quad (4.9)$$

$$\text{Ratio3} > 0.3 \quad (4.10)$$

检测结果如表 4-1 所示:

表 4-1 抽样的 20 个焊点的检测结果

	Ratio1 (A/B)	Ratio2 (D/A)	Ratio3 (C/A)	自动检测	人工目测
1	0.464	0.060	0.442	合格	合格
2	0.445	0.140	0.356	合格	合格
3	0.441	0.087	0.444	合格	合格
4	0.427	0.025	0.371	合格	合格
5	0.442	0	0	断线	断线
6	0.466	0.063	0.379	合格	合格
7	0.494	0	0.313	合格	合格
8	0.489	0.083	0.506	合格	合格
9	0.385	0	0.705	焊线偏移	稍微偏移

10	0.484	0	0.351	合格	合格
11	0.497	0.043	0.350	合格	合格
12	0.534	0.036	0.377	合格	合格
13	0.480	0.361	0.388	线尾过长	线尾过长
14	0.437	0.180	0.355	合格	合格
15	0.496	0.025	0.342	合格	合格
16	0.490	0.036	0.444	合格	合格
17	0.522	0.028	0.402	合格	合格
18	0.537	0.067	0.294	断线	合格
19	0.474	0.026	0.510	合格	合格
20	0.483	0.019	0.460	合格	合格

从表 4-1 可以看出, 焊点 5、9、13 和 18 不符合检测标准, 这四个焊点的图像如图 4-12 所示。在检测的 20 个焊点中, 只有焊点 18 的自动检测结论和人工目测结论不一致, 其检测参数 Ratio3 的值 0.294 略小于 0.3 (检测标准值)。可以修改检测标准或提高焊点 18 的图像质量, 避免出现类似的误检测问题。由上述实验可看出, 该自动视觉检测方法可以很好的检测出焊点的断线、位置偏移和线尾过长等缺陷, 检测正确率可以达到 90% 以上。

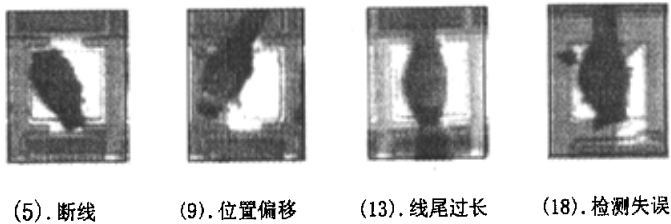


图 4-12 不符合检测标准的焊点图像

4.6 本章小结

本章介绍了一种对引线键合产品的在线视觉检测方法, 该方法可以在键合加工的同时, 借助现有硬件条件及已经记录的焊点数据信息, 分别对每一焊点自动进行视觉检测。在本章, 首先针对产品图像划分一个 ROI 区域, 以缩短图像处理的时间。接着,

华中科技大学硕士学位论文

根据不同产品的需求和实际经验，来确立其特定的检测规则，使得该方法可以适用于不同需求的产品检测。同时，详细介绍了检测中的关键图像处理技术，包括图像预处理、图像的模板匹配、图像的阈值与分割等，用图片来说明每一步的实际效果，并用一组试验数据来证明该方法的可行性。最后，文章介绍了该在线检测系统的硬件实现以及软件模块设计。

本系统所需硬件低廉，完全借助于键合机器原有的部件；同时，操作方便，自动在线检测效果好。本方法已经应用在商巨公司的全自动引线键合机器上，很好的满足实际生产的需要。

5 总结与展望

5.1 全文总结

本文研究了全自动引线键合机产品的质量缺陷与失效形式，介绍了相应的质量检测方法，有操作相对麻烦、用于抽检的机械检测法，也有基于产品外形特征的视觉检测法。最主要的是，作者充分考虑实际生产的需要，借助全自动引线键合机器现有的组件，研究并实现了两种成本低廉、实时在线性好的检测方法，即基于数据采集卡的统计性检测法和基于机器视觉的在线检测法。

论文的研究成果主要包括以下几个方面：

- (1) 研究了引线键合产品的质量缺陷与失效形式，介绍了其相应的检测方法。
- (2) 提出了一种基于数据采集卡的数据采集、处理与断线检测的统计检测方法。
- (3) 提出了图像阈值的设定方法及产品检测的评定准则，并应用于基于机器视觉的在线检测之中。

第二章引线键合产品失效分析与检测部分，对引线键合产品的质量缺陷与失效形式进行了分类和归纳，研究了产品焊点的键合操作断线失效、外形失效和可靠性失效，并重点分析了键合点根部裂纹与键合强度、键合点 Au-Al 金属间化合物、以及影响键合点可靠性的因素。这些分析的结果对寻找更加精确、高速的缺陷检测方法提供了依据，也对引线键合操作的工艺过程的改善提供了重要的参考资料。同时，本章也介绍了几种常见的检测方法，有检验电路性能的电特性检测法；有操作相对麻烦，用于抽检的机械检测法，包括破坏性引线键合拉力试验和非破坏性引线键合拉力试验；也有基于产品焊点外形特征的视觉检测法，如人工视觉检测法和自动视觉检测法。

第三章基于数据采集卡的统计性检测部分，详细研究了该方法的检测原理以及对采集到的数据所进行的处理与分析，并介绍了该实时检测系统的硬件实现与软件模块设计。该方法借助于键合机器原有的部件和一数据采集卡，监控键合操作时的机器状态，实时报告焊点的断线情况，能在键合操作的同时提供一份质量参考依据。该方法重点检测产品的键合操作断线失效，精度高，速度快，满足实时在线检测的需要。

第四章机器视觉在线检测部分，研究了基于机器视觉的自动检测方法的原理以及检测过程中所用的关键图像处理技术，包括图像预处理、模板匹配、以及图像阈值与

分割等。最后，文章给出了该检测系统的硬件实现与软件模块设计。本系统完全借助于机器原有的硬件部分，对采集到的产品图像进行处理与分析，进而判断产品的质量。它是在机器焊完一块芯片后的统一检测，主要检测焊点的位置偏移、断线和线尾过长等缺陷，满足自动在线检测的需要，并可作为工业生产中其他产品的在线视觉检测研究的参考依据。

5.2 展望

最近几年电子封装产业正在蓬勃发展，引线键合技术作为一种传统的并且成熟的技术一直占据着很大的市场份额，因此，全自动引线键合机器的研究和应用也将越来越深入。相应的，低成本、易操作、高精度、以及良好的实时在线性将是引线键合产品质量检测的发展方向。因此，未来的工作还可以从以下几个方面入手：

其一，继续深入对引线键合产品失效方式的研究。对焊点可靠性失效方式的研究，有助于提高电子产品的使用寿命；对焊点外形失效方式的研究，有助于更细间距键合技术的发展和更有效视觉检测方法的研究。可以通过大量的实验来分析产品失效的种类和成因，用先进的设备来观察焊点的形成过程，找出影响焊点质量的各种因素。

其二，基于数据采集卡的应用可以进一步延伸。用来检测焊点的质量只是一种结果，最主要的是监控和分析机器运行时的各种状态，实时反馈给机器系统，以提高键合工艺。改善键合工艺，才是控制产品质量的最好方式。

其三，自动视觉检测技术是一种很有发展前途的技术，可以继续向智能化、柔性、快速、以及低成本方向发展。光照条件的改善，图像获取环节的进一步研究，以及图像处理算法的继续深入，都可以发展自动视觉检测技术。尤其是应用专门的 DSP 部件来代替图像处理的软件实现，将大大提高视觉检测的速度。

华中科技大学硕士学位论文

致 谢

本学位论文是在我的导师熊有伦教授的悉心指导和亲切关怀下完成的，在整个课题的研究过程中，处处凝聚着熊老师的心血。熊老师高深的学问、渊博的知识、严谨求实的治学风范、一丝不苟的治学态度以及诲人不倦的精神，给我留下了永生难忘的印象，将使我终身受益。在论文完成之际，谨向导师表示衷心的感谢并致以崇高的敬意！

在课题研究期间，实验室丁汉教授、熊蔡华教授、尹周平副教授、杨文玉副教授和孙容磊副教授给予了许多的支持与帮助。感谢五位老师所给予的指导，在此向他们表示深深谢意！

本论文研究工作的开展是和课题组的王瑜辉博士、邓泽峰博士、吴金波博士、姚琴硕士的紧密合作分不开的，与他们的讨论让我深受启迪，感谢他们的辛勤付出与帮助。还应感谢我从事研究和课题所在的集体：深圳商巨自动化有限公司。赵斌总经理、颜贵斌副总经理、韩晶华工程师、都给过我很大的帮助，我学业上的每一分进步，都是与他们的关心和帮助分不开的。

衷心感谢机械学院张海燕老师、程宜老师、许昌敏老师等在工作学习和生活上对我无微不至的关心和支持。还要感谢实验室赵翼翔博士、刘宇博士、杨平海硕士、郭辉硕士、薛丰硕士、曾文鹏硕士、廖林峡硕士、徐敏硕士、王立成硕士、杨岸硕士等师兄弟的帮助。

机硕 011 班是一个团结的、互助的团体。静静的喻家山，美丽的校园，温馨的 011 班团体都给了我太多美好的回忆。尤其与室友章万国、高海兵、李明干，同学张志锋、朱林法等友谊将会天长地久。

最后要深深感谢多年来父母和妹妹在生活上、学业上所给予的关怀和支持，他们以最深切的爱给了我战胜一切困难的勇气，伴随着我度过最艰难的时刻。同时也感谢女友童燕数年来在生活上的关心，以及在学业上的理解与支持！

谨以此文献给所有关心、支持和帮助过我的师长、亲人和朋友们！

张先青

2004 年 4 月于华工园

参考文献

- [1] Bruce H. Making the Connection with Wire Bonding. *Electronics Engineer*, 1999, 7
- [2] Mark K K, Jon B, Michael D et al. An Integrated Approach To Solving sub-45um Wire Bond Process Challenges. SEMICON Singapore, 2001
- [3] 葛励冲. 微电子封装中芯片焊接技术及其设备的发展. *电子工业专用设备*, 2000, 29(4): 5~10
- [4] 王先春, 贾松良等. 集成电路封装试验手册. 电子封装技术丛书编委会: 电子工业出版社, 1998
- [5] 马玉华, 卜瑞艳. 对影响内引线键合可靠性的因素的分析与对策. *半导体情报*, 1999, 36(5): 53~56
- [6] 马鑫, 何小琦. 集成电路内引线键合工艺材料失效机制及可靠性. *电子工艺技术*, 2001, 22(5): 185~191
- [7] Walter N. Gold Wire Bonders for the Nineties. *Solid State Technology*, 1991, 34(6): 59~62
- [8] SEMI. World Semiconductor Equipment Markets. *Solid State Technology*, 2000, 43(10): 22
- [9] Chapter A: Wire Bonding.
<http://extra.ivf.se/ngl/A-WireBonding/ChapterA.htm>
- [10] 吴春凌, 叶邦彦. 基于计算机视觉的 FMS 生产零件状态检测系统. *机械工程师*, 2002, 10: 12~14
- [11] 谭立球, 刘应龙, 费耀平等. 一个实时工业视觉检测系统的研制. *长沙铁道学院学报*, 1998, 16(2): 31~34
- [12] 郝继贵, 杨学友, 叶声华. 车身三维尺寸视觉检测及其最新进展. *汽车工艺与材料*, 2002, 3: 22~25
- [13] 金隼, 洪海涛. 机器视觉检测在电子接插件制造业中的应用. *仪表技术与传感器*, 2000, 2: 13~16
- [14] Ninomiva T, Yoshimura K, Nomoto M et al. Automatic Screen-Printed Circuit Pattern Inspection Using Connectivity Preserving Image Reduction and Connectivity Comparison. In: 11th International Conference on Computer Vision and Application, 1992, 1: 53~56
- [15] Han C, Mazouz K and Saravanan N. A Printed Circuit Board Inspection System Using Artificial Neural Network. In: Twenty-Fifth Southeastern Symposium on System Theory, 1993: 238~242
- [16] Teoh E K, Mital D P, Lee B W et al. Automated Visual Inspection of Surface mount PCBs. In: 16th Annual Conference of IEEE on IECON, 1990, 1: 576~580
- [17] Matsuyama Y, Honda T, Yamamura H et al. Automated Solder Joint Inspection System Using Optical 3-D Image Detection. In: 3rd IEEE on Applications of

- Computer Vision, 1996: 116~122
- [18] Demir D, Birecik S, Kurugollu F et al. Quality Inspection in PCBs and SMDs Using Computer Vision Techniques. In: 20th International Conference on IECON, 1994, 2: 857~861
- [19] Hata S, Hagimae K, Hibi S et al. Assembled PCB Visual Inspection Machine Using Image Processor with DSP. In: 15th Annual Conference of IEEE on IECON, 1989, 3: 572~577
- [20] Oquz S H, Onural L. An Automated System for Design-Rule-Based Visual Inspection of Printed Circuit Boards. In: IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1991, 3: 2696~2701
- [21] 丁一军, 富钢, 于桂荣. 印制电路板视觉检测系统. 沈阳航空工业学院学报, 1999, 16(1): 59~62
- [22] 刘尚军, 程宪平. PCB 瑕疵图象实时视觉检测方法的研究. 计算机工程与应用, 2002, 16: 71~74
- [23] 朱更明, 李方敏. IC 芯片管脚缺陷在线视觉检测系统研究. 计算机工程与应用, 2002, 01: 232~235
- [24] 张洛平, 任远, 李济顺. 基于 FFT 特征匹配在检测芯片管脚间距中的应用研究. 计算机测量与控制, 2002, 10(6): 353~354
- [25] 柯晓丹, 盛文蔚, 王石刚. 基于非线性插值的 IC 芯片检测算法. 计算机测量与控制, 2003, 11(8): 627~629
- [26] Khotanzad A, Banerjee H and Srinath M. A Vision System for Inspection of Ball Bonds in Integrated Circuits. IEEE on Applications of Computer Vision, 1992: 290~297
- [27] Zhang W, Koh L M, Wong E M C. Computer Vision System for the Measurement of IC Wire-bond Height. IEEE TENCON, 1993, 2: 948~951
- [28] Sreenivasan K K, Srinath M and Khotanzad A. Automated Vision System for Inspection of IC Pads and Bonds. IEEE Trans. Comp., Hybrid, Manuf. Technol., 1993, 16(3): 333~338
- [29] 卢朝阳, 周幸妮, 顾英. 用图像识别的方法检测集成电路的键合点. 自动化学报, 1999, 4: 567~570
- [30] Machine Vision in the Semiconductor Industry. USA: Automated Vision Systems, Inc., 1999
- [31] 贾云得. 机器视觉. 北京: 科学出版社, 2002
- [32] 黄文清, 汪亚明, 周志宇. 计算机视觉技术在工业领域中的应用. 浙江工程学院学报, 2002, 19(2): 92~96
- [33] Nobauer G T, Moser H. Analytical Approach to Temperature Evaluation in Bonding Wires and Calculation of Allowable Current. IEEE Trans. Adv. Packaging, 2000, 23(3): 426~435
- [34] Elliot P. Intermetallic Formation in Gold/Aluminum System. Solid State Electron, 1970, 13: 1391~1399
- [35] 李自学, 王凤生, 张承军. 不同状态的 Si-Al 丝对键合点根部损伤的影响. 电

- 子元件与材料, 2001, 12: 1~2
- [36] Sheaffer M, Levine L. How to Optimize and Control the Wire Bonding Process. *Solid State Technology*, 1990, 33(6): 119~123
- [37] 李自学. 厚膜 Au 导体的超声键合技术研究. *微电子学与计算机*, 1997, 6: 1~5
- [38] 腾建勇, 金玮, 张奇等. 芯片尺度封装中焊线的应力分析研究. *功能材料与器件学报*, 2003, 9(2): 185~190
- [39] Koeninger V, Uchida H H and Fromm E. Degradation of Gold-Aluminum Ball Bonds by Aging and Contamination. *IEEE Trans. CPMT*, 1995, 18(4): 835~841
- [40] 杨邦朝, 蒋明, 张琴. SMT 检测设备市场趋势. *世界电子元器件*, 2003, 1: 17
- [41] 张文景, 张文渊, 苏键锋等. 计算机视觉检测技术及其在机械零件检测中的应用. *上海交通大学学报*, 1999, 33(5): 635~638
- [42] Murcko R M, Susko R A and Lauffer J M. Resistance Drift in Aluminum to Gold Ultrasonic Wire Bonds. *IEEE Trans. CHMT*, 1991, 14(4): 843~847
- [43] Jenson J, Drandnet D. Monitoring Ultrasonic Wire Bonders with Dynamic Signal Analyzer. *Solid State Technology*, 1990, 33(6): 53~55
- [44] 黄国瑜, 叶乃菁. 数据结构. 清华大学出版社, 2001
- [45] 韩为民. 键合机三维工作台控制系统的设计. *电子工业专用设备*, 2003, 104: 78~82
- [46] 闫之刚, 蒋洪. 运动控制芯片 MCX314 及其应用. *电子技术*, 2002, 10: 39~42
- [47] USER MANUAL FOR DMC-1700/1800. Galil Motion Control, Inc., 2000
- [48] 10H-P2 USER'S GUIDE, Version 3.51. Uthe Technology Inc., 1998
- [49] 谢敬华, 李小平, 范良志等. 提高引线键合机超声系统性能的若干因素的分析. *现代电子技术*, 2003, 146(3): 65~67
- [50] 韩为民. 键合机中超声波的基本控制原理及方法. *电子工业专用设备*, 2003, 106: 21~26
- [51] 徐涛. 超声波发生器电源技术的发展. *洗净技术*, 2003, 4: 10~15
- [52] User Guide for PLC-818PG Enhanced Multi-function Data Acquisition Card. EVOC Technology Co., Ltd., 2000
- [53] 李见为. 自动视觉检测中的启发式图像预处理方法. *光电工程*, 1995, 22(3): 36~42
- [54] 章毓晋. 图象工程(下册)——图象理解与计算机视觉. 清华大学出版社, 1999
- [55] 拓普选翻译整理. 全自动引线键合机上的图像视觉系统. *电子工业专用设备*, 2001, 30(3): 43~48
- [56] 周党群, 程宪平, 李刚健. PCB 视觉检测系统中目标图像提取的研究. *电子测量与仪器学报*, 2001, 15(3): 10~13
- [57] Charette C, Park S, Williams R et al. Development and Integration of a Microcomputer based Image Analysis System for Automatic PCB Inspection. In: *International Conference on Computer Integrated Manufacturing*, 1988: 129~135
- [58] 徐胜海. 印刷电路板在线自动视觉检测系统的分析研究. 硕士学位论文, 合肥工业大学, 2001
- [59] 宋培华, 牛玉洲, 高敦岳. 在线检测中机器视觉的 CCD 方案. *计算机工程*, 2001,

27(11): 23~25

- [60] Snyder W E, Hsiao M L, Overton K J et al. Circuit Board Inspection Using a Range Camera. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 1991, 38(2): 142~148

附录 1 攻读硕士学位期间发表的论文

- [1] 张先青, 邓泽峰, 熊有伦. 基于视觉技术的 Wire Bonding 中焊点质量的自动检测方法. 计算机工程与应用, 已录用

附录 2 科研成果登记证书

登记证书

该项科学技术研究成果，已通过评价审查合格，并在“深圳市科技信息网”上公告，未见提出异议，准予登记，特发此证书。

成果名称：全自动转头式引线键合机 SW123
完成单位：深圳市西巨自动化有限公司
华中科技大学

主要研究人员：颜斌斌、熊有伦、韩品华、王渝辉、吴金波、邓泽峰、温崇业、张健、林琳、李秀昌、颜平、张先青

登记号：20070256 登记日期：2003.01.14 发证日期：2003.04.17

