

在线 AOI 的集中判定综合处理系统的研发与应用

谢志伟, 石振振, 邹旭军, 张 迪, 董典桥, 刘长有

(中兴通讯股份有限公司制造工程研究院, 广东 深圳 518000)

摘要: 本文设计了一种 AOI 集中判定、远程控制、综合处理系统, 由硬件和软件构成, 可兼容各种 AOI 型号和场景。通过将 MQTT 通信与 SMEMA 控制的结合、并发处理技术的开发, 可以在不影响 AOI 节拍的前提下, 由一人处理几十台 AOI 的判定工作; 并在 AOI 设备自带算法的基础上叠加自研算法 (AI 二次辅助判定算法、AOI 缺陷管控算法), 从而摆脱对 AOI 供应商算法迭代的依赖; 通过将智能制造技术应用于 AOI 检测数据的数字化改造和应用, 实现了工序管控移交和数据绑定的自动化, 替代了人工扫描操作。在提升生产质量的同时, 节省了大量的人力。

关键词: 在线 AOI; 集中判定; AI 图像识别; SMEMA 控制; AOI 算法; SMT 数字化; 智能制造

中图分类号: TP274 **文献标识码:** A

1 引言

在线 AOI (Automated Optical Inspection, 自动光学检测) 在电子制造业中被广泛应用, 用于检测电路板上的各种缺陷, 包括焊点不良、元器件缺失、错件和错位等故障^[1]。但随着电子元器件焊接密度增加、PCB (Printed Circuit Board, 印刷电路板) 板尺寸越来越大, 尽管当前 AOI 设备的检测技术已经相当成熟, 虽然 NG (Not Good, 故障) 误报率比较微小, 但检测的每块单板上通常多达 3 000~5 000 个元器件, 导致按整板计算会有较多数量的 NG 告警, 需要人工进行二次判断。如毫米波基站, 单块单板有上万器件的情况, 这种问题更加严重。目前 AOI 设备制造技术的智能化水平还不高, 与智能制造技术相结合力度还远远不足, 主要体现在以下几个方面。

1) 人力成本高, AOI 设备位于 SMT (Surface Mount Technology, 表面贴装技术) 生产线的末端, 与上下游 SMT 设备通过 SMEMA (Surface Mount Equipment Manufacturers Association, 表面组装设备制造商协会) 协议连接, 而 SMEMA 是通过 24V 电平来进行控制的^[2], 无法将多台 AOI 设备集中到一处。虽然 AOI 检测后的 NG 误报率微小, 仍然每台 AOI 需要配置一名人员。

2) 算法迭代更新慢, AOI 设备的检测算法由供应商提供, 自采购后基本上很少迭代更新, 除非购买新的算法软件。业内的常用做法是引入 AI (Artificial Intelligence, 人工智能) 图像识别算法 (以下简称“AI 算法”) 技术进行二次复判, 但由于 AOI 设备未提供第三方接口, 只能新增一个筛选工序^[3-4]。新增工序不仅需

要硬件投入，也有增加工序带来更多的人力投入。

3) 无论是 AOI 检测、AI 检测均存在少量的器件无法判定，需要人工进行二次判定，对于人员的技术水平有一定的要求。由于客观原因（技术水平限制）或主观原因（责任心）都可能将一些存在明显故障的单板当做合格单板处理，从而造成故障泄露。

4) AOI 设备一般是外购，与工厂内的 MES（Manufacturing Execution System，生产制造系统）无直接对接，有些工厂的做法是工人除了二次判定工作之外，还需通过人工扫描的方式，将单板信息扫描到 MES。但 AOI 设备在检测过程中是收集了海量的单板信息是可以利用的。

5) 大型 PCBA 工厂的 SMT 流水线一般存在多种型号的 AOI 设备，不同型号 AOI 设备的数据格式不一致，造成存储、检索、追溯存在一定的困难。需通过 AOI 的数字化工作解决上述问题，并帮助企业进行质量管控和持续改进的目的。

对于多台 AOI 设备的集中判定和管理，有的公司采取集控中心软件 + 筛选机的方式，实现一台电脑判定两条线体^[5]。有的公司采取新增人工复判工位，通过扫码装置识别单板条码，再从 AOI 设备上提取测试信息用于人工复判^[4, 6]。

本文针对上述痛点，提出了在线 AOI 的集中判定综合处理系统方案，实现了多台 AOI 的集中控制^[7]，在 AOI 设备自带算法的基础上叠加自研算法（AI 二次辅助判定算法、AOI 缺陷管控算法），利用 AOI 检测收集的海量数据，完成各类数据的提取（比如拼板绑定关系、贵重器件与单板条码的绑定）、自动化操作（合格单板的自动过站、不合格单板的自动录入维修系统）、质量管控（上工序 NG 单板拦截、维修管控）等。

2 系统设计

2.1 系统架构

基于数字星云的组件式开发模式，集中判定综合处理系统应用架构上进行功能解耦，分层设计，系统由多个功能模块组成，各模块独立开发和迭代优化，这种架构可以提高系统的组件化，便于维护和扩展。集中判定综合处理系统技术架构可分成三个层次：底层抽象层、中间调度层、上层业务层。

如图 1 所示，AOI 检测设备、AI 算法云服务器、

MySQL 数据库均属于系统的基础设施，其中 AOI 检测设备输出的数据和图片是本系统的基础数据；AI 算法云服务器独立于本系统，自动提取 AOI 检测后的 NG 告警，通过 AI 算法进行二次判断后，再将最终结果提供给本系统；MySQL 数据库提供本系统所需的数据库存储资源。

底层抽象层包括硬件抽象层和算法抽象层，硬件抽象层负责对 SMT 设备的抽象，通过自研的 SMEMA 通信模块，负责上游 AOI 设备、下游自动收板机的控制和驱动；算法抽象层负责对实时采集的数据和图片自动进行算法处理，包括各自独立的 AI 算法、AOI 检测值算法、维修管控算法等。

中间调度运营层在硬件抽象层的信号控制和算法抽象层的数据运算的基础上，通过调度各个模块实现相应的功能和数据存储。比如：设备接入负责底层设备的状态信号输入、控制指令输出；多节点调度负责多个设备的接入和算法提取；AI 二次判定结果提取 NG 告警的 AI 判定结果并分发；人工判定结果提取 AI 无法判定的 NG 告警的人工判定结果并分发；AOI 检测值提取自研的检测值管控算法结果并分发；维修管控负责历史检测结果检索和维修状态的提取及计算。

上层业务层通过组合调度运营层的功能，提供给用户使用的各种 APP、服务或自动化操作，比如：自动化测试通过调度实现一人管理下的多台 AOI 设备的自动化测试；数据采集通过对多种 AOI 型号的数据采集和清理，实现数据按统一格式存储；自动过站通过与公司 MES 的交互，实现生产工序的自动移交；质量管控通过对存储的历史数据的检索，完成故障单板的自动拦截；数据查询通过数据采集后的统一格式数据存储，实现了生产历史数据的快速、全面的数据查询；维修自动录入通过检索故障信息，实现了故障单板的自动录入，减轻人工录入工作量；维修可视通过数据孪生功能，实现了故障单板 NG 信息的可视化展示，有效协助维修人员开展维修工作。

2.2 系统组成

集中判定综合处理系统（以下简称“集中判定系统”）主要由 AOI 设备、AI 算法云服务器、下位机和上位机的集中判定系统软件和 MySQL 数据库等多个模块组成。

1) AOI 设备：属于 SMT 生产线的设备之一，功能是进行 PCB 单板的光学检测。

2) AI 算法云服务器：AOI 检测完成后产生的 NG 告

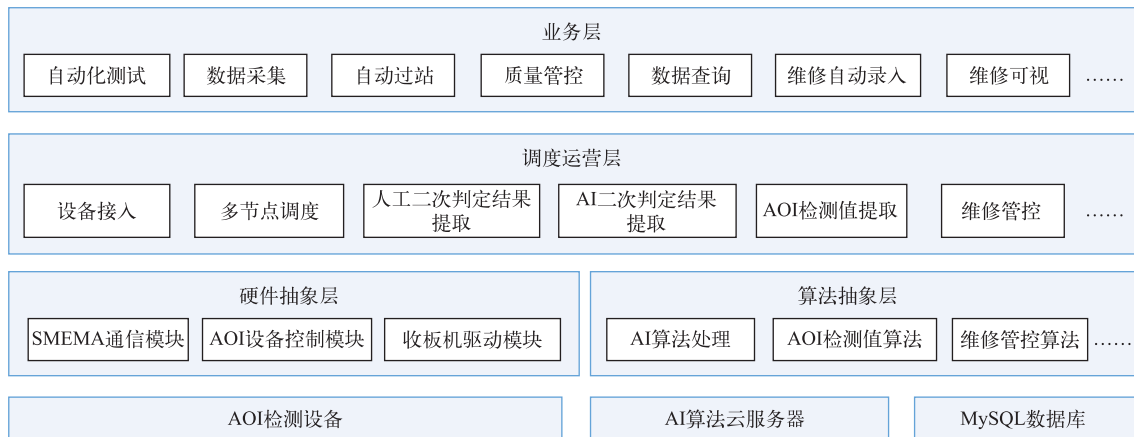


图1 集中判定综合处理系统架构

警信息送到 AI 算法云，进行 AI 二次智能判定。本文研究不涉及 AI 算法的研究，集中判定系统只提取 AI 二次判定结果，为描述完整性考虑，对此部分有简单描述。

3) 下位机：硬件连接在 AOI 设备和自动收板机之间，每台 AOI 设备对应一台下位机，每台下位机 id 唯一，功能是检测 SMEMA 指令并转换为 MQTT (Message Queuing Telemetry Transport, 消息队列遥测传输) 消息传输给上位机、监听上位机 MQTT 指令并转换为 SMEMA 指令，控制自动收板机分板，将好板分到 OK 箱、坏板分到 NG 箱。

4) 上位机的集中判定系统软件：为本系统的核心软件，接收下位机消息、通过 AOI 设备采集单板条码和

AOI 检测数据，再进行各种算法计算、结果提取、管控处理，以及数据整理、上传保存后，再将总结果 (OK/NG) 通过消息发布的方式发布给下位机。

3 关键技术

3.1 多节点组网通信

SMT 设备之间的单板传送必须满足 SMEMA 协议。SMEMA 接口定义如图 2 所示，SMEMA 接口采用 2 根信号线来传输“要板”或“有板”信号，基本要求是：30V，10mA。当上游设备产生“有板”（低电平，不超过 0.8V）且下游设备产生“要板”（低电平）后，被测单板才从上游设备走到下游设备。

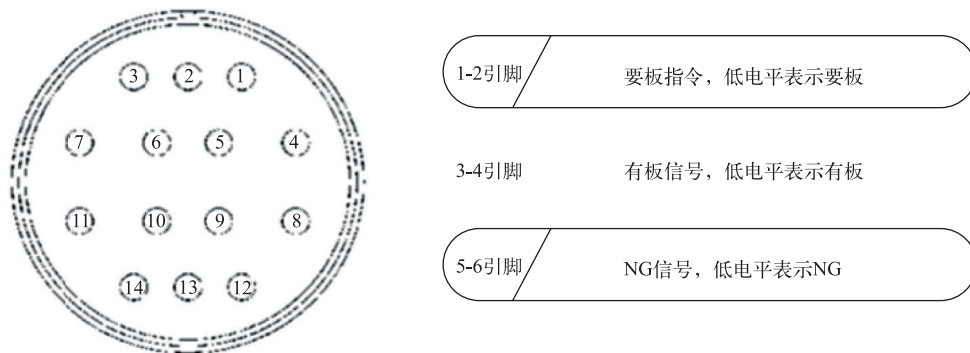


图2 SMEMA 接口定义

下位机硬件名称：SMEMA 控制器^[8]，串联在上游设备 AOI 和下游设备自动收板机之间，遵守 SMEMA 协议，存量设备不用做改造即可支持，而不需要设计组装筛选机。SMEMA 控制器的主控模块采用工业级设计方案，搭载 32 位 ARM 处理器和 10/100M 以太网网络方案，

SMEMA 控制器有 4 路继电器输出，用于上游要板、下游有板、单板 NG 等信号输出及三色灯 / 告警灯的控制；4 路隔离输入，用于检测上游有板、下游要板等信号的输入及在位检测。SMEMA 控制器的作用是将 24V 的输入电平信号转换为 MQTT 发布消息传递给上位机、通过



MQTT 订阅消息接受上位机的控制指令，具体对应关系 见表 1。

表 1 SMEMA 指令与 MQTT 消息对应关系

输入信号	用途	MQTT 消息内容	输出信号	用途	MQTT 消息内容
1	上游有板	+OCCH1: 1, 表示有板 +OCCH1: 0, 表示无板	1	上游要板	AT+STACH1=1, 100000
2	下游要板	+OCCH2: 1, 表示要板	2	下游有板	AT+STACH2=1, 100000
3	心跳	+OCCH3: 1, 表示工作正常	3	OK/NG 信号	AT+STACH3=1, 100000, 表示 NG AT+STACH3=0, 100000, 表示 OK
4	闲置		4	三色灯驱动	AT+STACH4=1, 100000

说明：每一个 SMEMA 控制器分配唯一的发布 / 订阅消息主题，用于区分不同的 AOI 设备节点。

上位机组网说明：MQTT 是一个基于客户端 - 服务器的消息发布 / 订阅传输协议^[9]，所有客户端发布的信息通过本地的 MQTT Broker（消息服务器）进行中转，任一客户端可以通过订阅的方式获得另一个客户端的发布信息。MQTT 协议提供了一对多的消息分发机制，每个

节点的发布 / 订阅主题不同且唯一，集中判定系统通过 MQTT 组网同时连接多个节点，同时进行多个节点的数据采集和计算处理。多节点（下位机）与上位机的组网示意图如图 3 所示，图中节点 1~6 分别对应 2 条 SMT 生产线中的不同设备节点。

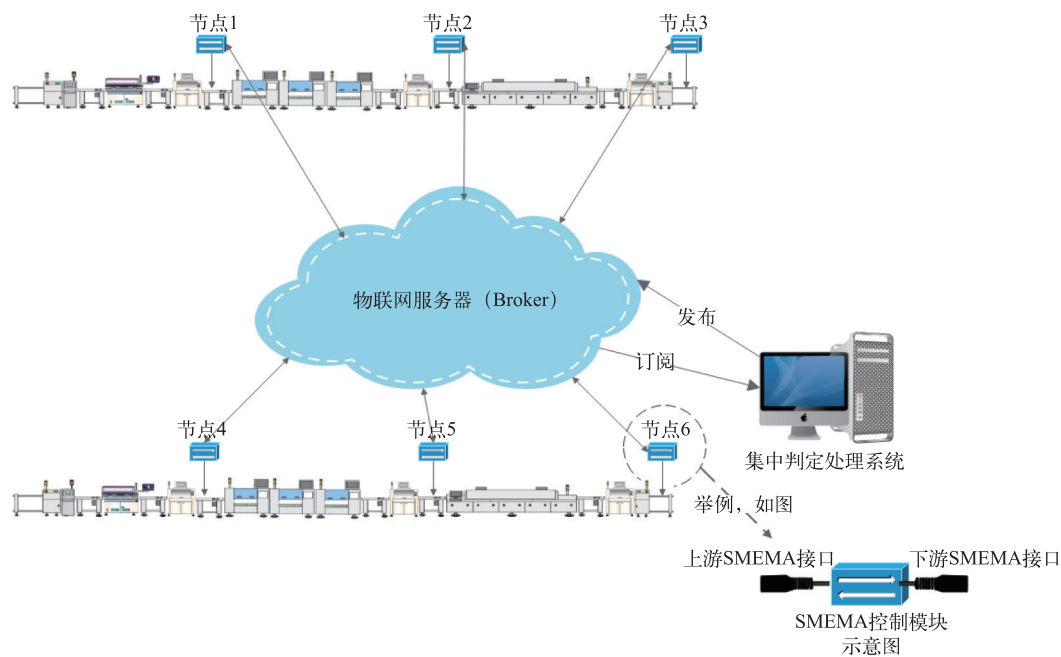


图 3 集中判定综合处理系统多节点组网示意图

3.2 测试项的执行和调度

(1) 启动条件 每个节点的 SMEMA 电平发生变更后，下位机会主动发布信息，上位机通信软件通过消息订阅收到有板消息后，为测试启动条件之一；然后集中判定处理系统会根据收到的消息主题关联到对应的 AOI 设备 ID，提取到 AOI 检测数据，判断数据是否合法（比如单板条码符合规范），此为测试启动条件之二。两个

条件满足之后，系统测试项自动启动。

(2) 执行流程举例 集中判定系统某个节点的测试项启动后，依次提取 AOI 设备检测结果、AI 算法判定结果、AOI 检测值管控算法结果，以及用户提出的其他管控需求、自动化操作、数据整理上传操作等。这些操作均以测试项形式体现，各个测试项相互独立，便于迭代开发和部署。测试项执行顺序根据逻辑关系可配置，相关的

可配置的并发处理技术详见下节介绍。

本系统的某个节点的部分测试项的执行流程举例如图 4 所示，此系统在实际应用中，应用户的需求，测试项数量已扩展到 17 个，运行总耗时约 6s，小于 AOI 检测耗时。

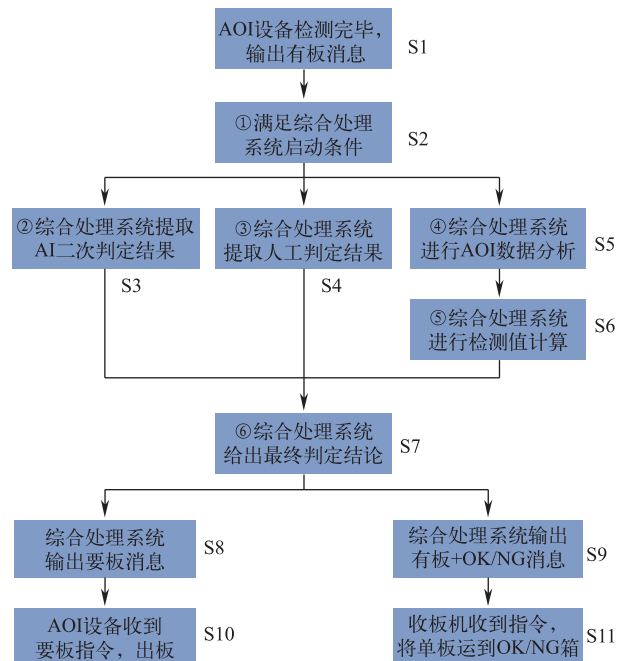


图 4 集中判定综合处理系统测试项执行流程图

S1: AOI 设备检测完毕后，SMEMA 接口会输出有板指令，此指令通过 SMEMA 电缆送到“SMEMA 控制器”，“SMEMA 控制器”将其转换为物联网有板消息并发布消息，通过 IP 网络发送给集中判定系统。

S2: 测试项①，集中判定系统收到物联网有板消息之后，根据消息信息所带的模块 id，检索对应的 AOI 设备节点的检测数据，提取单板条码，测试项启动。

S3: 测试项②，AOI 检测后产生的一些缺陷和假报警先送到 AI 算法服务器，AI 算法对能识别的缺陷进行二次判定，对于无把握的缺陷，AI 算法会送给人工二次判定。此测试项需要从 AI 算法服务器实时提取 AI 处理情况；

S4: 测试项③，对于 AOI、AI 均无法判定的缺陷和假报警，需要人工进行二次判定。此测试项需要根据条码实时提取人工判定结果。

S5: 测试项④，进行 AOI 检测值管控算法前，需要相应的 AOI 检测数据，需要根据条码从 AOI 设备节点内实时提取数据。

S6: 测试项⑤，按照预定的算法，进行 AOI 检测值管控算法计算，找出不符合阈值要求的器件，判断单板是否合格，如果存在 NG 器件，即使 AI 二次判定合格或者人工判定合格，均将此单板强制为 NG 单板。

S7: 测试项⑥，汇总上述的 AI 二次判定结果、人工判定结果、AOI 检测值判定结果，给出此单板的测试项的最终结果。

S8: 集中判定系统将测试项的最终结果以物联网信息发布方式将“要板消息”发布给“SMEMA 控制器”，“SMEMA 控制器”将消息转换为 SMEMA 的“要板指令”，通过 SMEMA 电缆传递给 AOI 设备。

S9: 集中判定系统将测试项的最终结果以物联网信息发布方式将“有板消息和 OK/NG 消息”发布给“SMEMA 控制器”，“SMEMA 控制器”将消息转换为 SMEMA 的“有板指令和 OK/NG 指令”，通过 SMEMA 电缆传递给自动收板机。

S10: AOI 设备收到“要板指令”后，将此单板从 AOI 设备内运送出来。

S11: 收板机收到“有板指令和 OK/NG 指令”后，待此单板从 AOI 设备出来后，根据 OK/NG 指令将单板自动分板到 OK 箱或者 NG 箱。

上述 S1~S11 的流程属于某个节点内的流程，集中判定系统借助并发处理技术可以保证各个节点内的流程独立且并行测试，可以在满足测试启动条件后立刻开始测试，测试结束后控制单板送入自动收板机。

3.3 可配置的并发处理技术

本系统为了提升 AOI 检测的效率，采用了并发处理，主要包括 2 个维度的并发：

- 1) 被测物间的并发，不同被测物（节点）属于不同的 SMT 线体，要求各个节点间并行测试，执行过程互不干扰；
- 2) 被测物内的并发，被测物（节点）内的测试项数量较多，全部串联执行耗时较大，会影响生产节拍，降低生产效率。

(1) 配置过程 集中判定系统的软件框图如图 5 所示，其中左边的“AOI 设备_B1”设备节点对应图 5 中节点 1 所代表的“SMEMA 控制器”，不同颜色表示不同测试状态，红色为故障，黄色为告警，粉色为有故障但测试中，每个设备节点之间独立且并行测试，被测物（AOI 被测单板，下同）即进即测，测完即走，该系统可同时支持 800 个被测物实时并发测试。

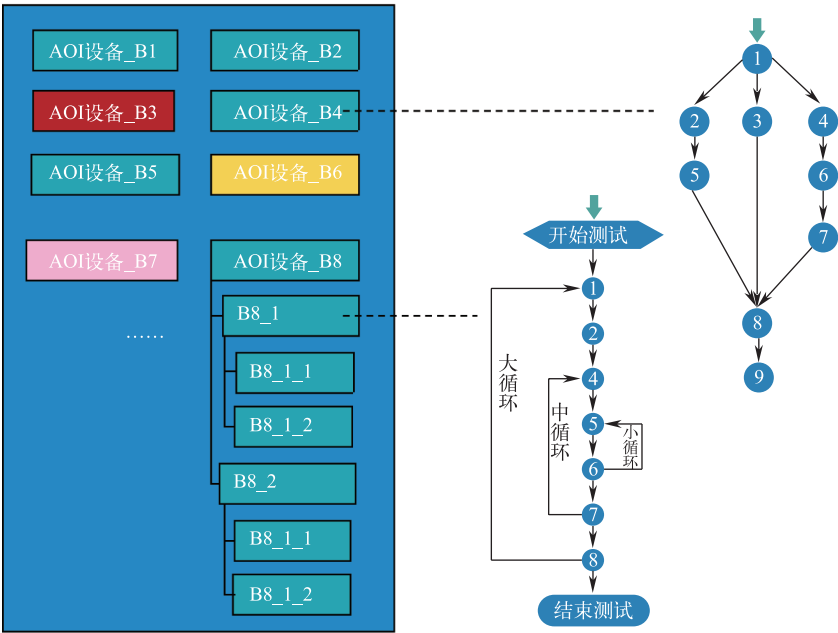


图5 集中判定综合处理系统的软件框图

该系统支持多层次被测物的并发测试，每个层级的被测物可以并发执行，且不同层级的被测物的测试项可以通过配置自定义。

该系统支持不同机型的被测物同时并发进行，每个型号可以自定义独立的测试项，混插混测。可以自定义环境实体，用于环境信息采集显示，被测物测试前的环境检查。

该系统也支持被测物之间有关联关系的模型，该关联关系可以通过配置文件的标签生成，灵活可变。下面场景可支持，举例说明如下。

(2) 被测物间的并发场景1 AOI设备_B1和AOI设备_B2之间的某个测试项共享仪表资源，B1和B2只能有一个占用仪表测试，B1占用后，B2等待，B1释放后，B2自动开始测试。场景1的调度流程如图6所示。

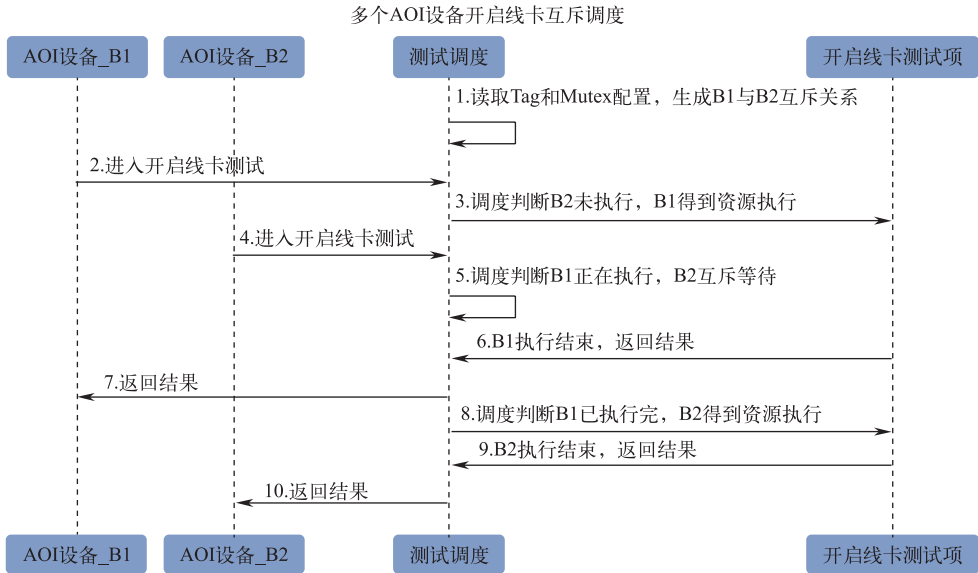


图6 场景1的调度流程

AOI 设备 _B1 的开启线卡测试项使用自定义标签 Tag0，AOI 设备 _B2 的开启线卡测试项使用自定义 Tag0，通过设置 Mutex 标签的互斥对象为 Tag0，实现开启线卡的互斥，满足场景 1。

(3) 被测物间的并发场景 2 AOI 设备 _B1，AOT 设备 _B2 之间需要都执行到某一个点，进行设备下电操作。场景 2 的调度流程如图 7 所示。

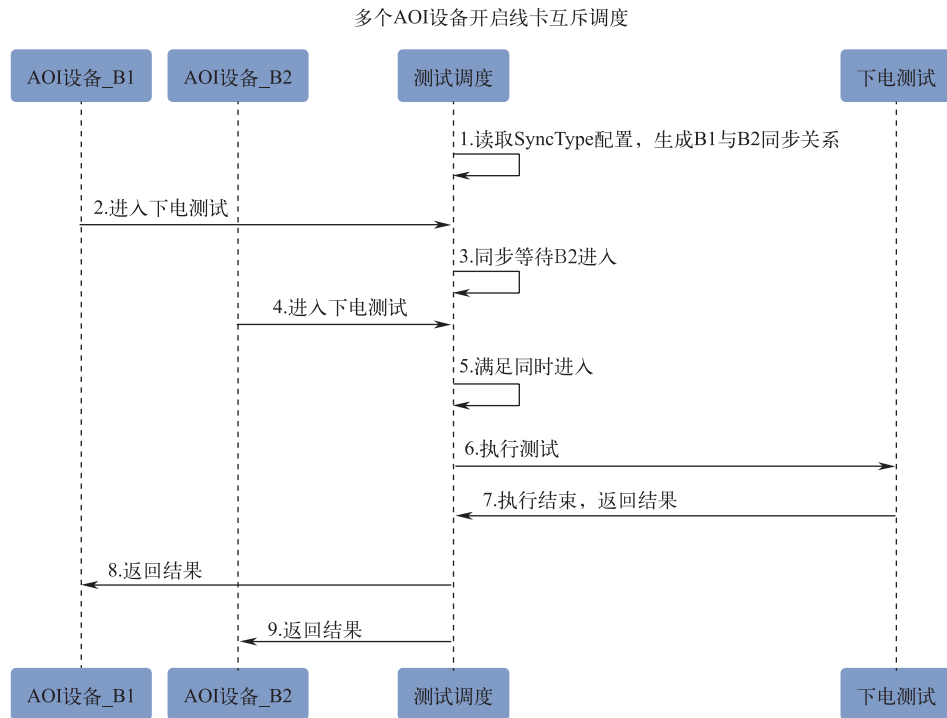


图 7 场景 2 的调度流程

AOI 设备 _B1 的下电测试项使用 SyncType 标签并且设置层级 Level2，AOI 设备 _B2 的下电测试项也同样使用 SyncType 标签并且设置层级 Level2，即可实现场景 2。SyncType 的定义是相同层级的所有被测物的该测试项同时进入，才开始测试，满足场景 2。

(4) 被测物内的并发场景 自系统启动开发后，在部署过程中，根据用户需求陆续增加了多个测试项，到目前为止，测试项已达到 17 个，具体如图 8 所示。

AOI 设备 _B1 内的人工 NG 结果判定测试序列与 SPC 文件解析测试序列、下工序自动接收、SMT 设备参数点检并行执行，其中 SPC 文件解析测试序列的共面度检测序列、AOI 缺陷自动拦截、AOI 管控物料监控是并行执行，在共面度检测序列的贵重物料绑定和维修管控和前工序管控是并行执行的。

3.4 自研算法的设计

当今时代人工智能技术蓬勃发展，通过智能制造技术的研究，开发了两种自研算法，其目标各不相同。AI 二

次辅助判定通过提取 AOI 检测后的 NG 告警图片，自研 AI 二次智能判定算法，减少需要人工判定的数量；AOI 缺陷管控算法提取被测单板所有位号的检测项和检测值，依据自研算法和阈进行计算，如果判为 NG 则强制拦截，避免人为泄露。

(1) AI 二次辅助判定算法 AOI 检测设备是一种高效率、高质量的无损检测技术，能够快速检测 PCBA 板上的缺陷和不良品。其主要原理是通过 CCD (Charge-Coupled Device, 感光耦合组件) 相机、三维结构光相机将 PCB 板上的图像传输到计算机中进行图像处理和分析，进而判断产品的缺陷情况。在常规 AOI 检测中，PCB 板的缺陷被识别为某一特定的概念，例如缺件、错件、偏移、虚焊、少焊和损伤等。尽管当前 AOI 设备的检测技术已经相当成熟，但生产的每块单板上通常多达 3 000~5 000 个元器件，巨大的检测量使得微小的 NG 误报率，仍然使设备输出大量的 NG 告警，需要人工进行二次判断。

针对这些 NG 告警，自研 AI 算法处理，引入基于特

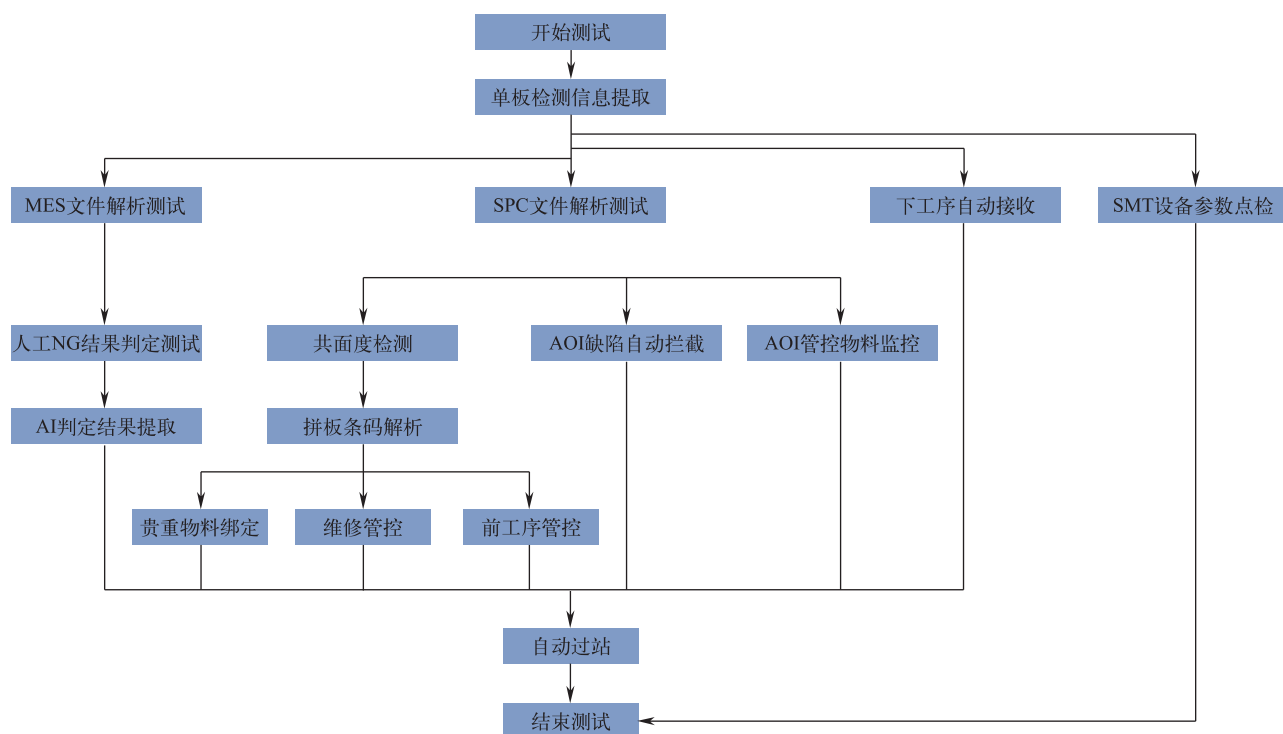


图8 被测物内测试项的并发测试流程

征的图像处理方法和深度学习方法，可以通过多个角度来进行二次判断和筛选，从而有效降低误报率。在 AOI 设备初始检测完毕后，叠加使用基于特征的图像处理方法和深度学习方法进行二次判断。具体而言，基于特征的图像处理方法可以从多个方面对误报进行判断，例如形状、颜色、文字内容和三维高度等方面进行分析。通过比对这些特征信息与真实缺陷比对，可以更加准确地识别误报情况，减少误差率，提升判别效率和精度。同时，深度学习方法也是二次判断的核心手段之一。研究建立深度学习模型用于目标检测和目标分割，提取更多高级特征信息，并大大增强本系统算法的适应性。应用基于 CNN (Convolutional Neural Networks, 卷积神经网络) 的深度学习算法，结合大量的训练数据集进行训练，从而进一步提高误报识别准确率。其中，目标检测用于精确定位误报区域和不良品区域，目标分割则用于实现图像内容的拆分和重构，对不同事物进行分类和判断。

已支持 13 种不良的 AI 二次辅助判定，部分算法逻辑说明如下。

1) 错件：使用 AI 算法提取元件的特征，并辅助以元件的颜色、面积、体积等信息，对元件是否用错进行

判定。

2) 偏移：使用 AI 算法识别出元件的轮廓，通过识别出的本体获得元件的位置坐标、角度，对元件与标准位置是否产生偏移进行判定。

3) 缺件：使用 AI 算法对待检测位置检测，识别是空焊盘或者是元件，对元件是否缺失进行判定。

4) 漏铜：使用 AI 算法识别出焊盘的铜色区域，然后根据铜色区域的面积是否在标准范围内进行判定。

自研 AI 算法与集中判定系统相互独立，集中判定系统通过接口调用 AI 算法进行二次判定，辅助减少人工判定工作量，助力集中判定系统的部署，自研 AI 的详细算法不在本文中详细展开。

(2) AOI 检测值管控算法 AOI 检测完毕后，对单板内所有元器件或输出一份详细的检测数据文件，展示 AOI 的部分检测值数据，还包括元器件代码、元器件封装、x 坐标和 y 坐标等。

AOI 检测值管控算法对上述检测记录按筛选条件进行筛选，并将记录的测试值和阈值进行比对，不符合要求的器件强制为 NG 器件、单板亦按 NG 处理，并根据器件坐标从整板图中提取器件图片，供生产维修使用。目前已陆续开发了三种检测值算法，算法流程见表 2。

表 2 AOI 检测值管控算法流程

分支	NG 原因	筛选条件		测试值	不良类型
		测试项	算法		
1	MISSING	无		不满足 管控阈值 1	缺件
2	翘脚	翘件	3D 高度基准	不满足 管控阈值 2	翘脚
3	翘件	翘件 元件翘起	3D 高度对比	不满足 管控阈值 3	翘件

分支 1 即缺件检测分支^[10]，通过检出本体算法获取被测单板对应的检测值，如果该检测值不满足预设的管控阈值 1 的情况下，产生缺件的不良类型；

分支 2 即翘脚检测分支，通过 3D 高度基准算法获取被测单板对应的检测值，如果该检测值不满足预设的管控阈值 2 的情况下，产生翘脚的不良类型；

分支 3 即翘件检测分支，通过 3D 高度对比算法获取被测单板对应的检测值，如果该检测值不满足预设的管控阈值 3 的情况下，产生翘件的不良类型。

执行完毕后，如果判断 PCB 单板存在“缺件”“翘脚”“翘件”的某一种不良，单板强制为 NG 单板。这 3 种不良类型由检测数据计算得出，不依赖人为判断和 AI 计算，可以起到拦截人为泄露的作用，每种算法的阈值会在使用过程中不断优化，使得拦截更准确。

4 业务应用

4.1 SMT 数字化的应用

大多数公司均有自己的 MES，这些系统与 AOI 设备相互独立，数据无法自动同步。在本系统开发前，工人用扫描枪扫描的方式，将完成检测的单板条码录入到 MES，AOI 设备检测时提取到的大量数据未被有效利用。本系统开发部署后，利用了 AOI 设备收集的海量数据，已将下述工作实现了自动化：

- 1) 拼板间的绑定关系同步到 MES；
- 2) 单板上高价值器件条码与单板条码的绑定关系同步到 MES；
- 3) 合格单板的自动过站、下工序移交操作；不合格单板的自动录入维修系统操作。

还可以根据用户需求开发各种管控功能：

- 1) 上工序管控，即上工序 NG 单板拦截，避免泄露到下工序；

2) 维修管控，即维修不合格或未完成的单板拦截，避免泄露到下工序；

- 3) 用户的其他定制化管控需求。

4.2 数据查询功能

集中判定系统通过数据整理将不同格式的 AOI 数据按统一格式上传保存到自研的 MDS (Manufacturing Data System, 生产数据系统)，在此基础上，开发了通用查询业务，实现了可在同一个界面上查询到所有 AOI 检测数据，包括整板图、NG 图及各种统计功能。

MDS 的“通用数据查询”页面，包含检测结果查询、过程值、管控结果等查询，也支持 NG 信息查询及图片展示、整板图下载、检测数据文件下载等功能；并可对按查询条件检索出的查询结果进行数据统计，比如物料代码维度、批次维度、时间维度等自动统计需求。

4.3 维修自动录入功能

AOI 工位省人后，为满足 NG 位号的维修需求，开发了自动录入维修功能，只需扫描单板条码，即可检索历史测试记录，自动将 NG 位号信息录入到维修系统；维修可视功能可以展示整板图和 NG 图，并显示 NG 位号在整板中的位置；维修管控必须满足维修流程质量要求，否则维修单板不允许移交到下工序。

4.4 智能运营中心的建设

上述集中判定处理系统部署于某司 SMT 车间所有生产线，如图 9 所示。与数字化改造之前相比，AI 算法帮助减少了 50% 以上的人工判定工作量，使得 AOI 误报率降低 40%，集中判定处理系统部署后，根据不同产品 PCB 器件的密度和焊接需求，一人多机最大可以同时管理 20 台 AOI，最少的一人同时管理炉前、炉后 2 台 AOI 设备，总体上 SMT 车间 AOI 人员数量减少了 36%，且质量收益明显，数据查询效率提升。



图9 某公司 SMT 车间智能运营中心

5 结束语

本系统开发初衷是解决人员二次判定导致的质量不稳定性问题，通过引入 AI 图像识别技术，将人工判定工作量大大减少；通过开发 SMEMA 电平转换为物联网消息的智能制造技术，实现一台终端同时远程控制多台 AOI 设备；而随着控制的设备数量增多，多条 SMT 线体数据的串行处理会导致阻塞的发生。同时，应用户需求而增加的测试项从最初的 6 个增加到 17 个测试项，测试项运行耗时最多时需 10~20s，导致单板处理耗时增加而降低了生产节拍。因此，开发了可配置的并发处理技术，通过线体间、测试项间两个维度的并发处理，解决了线体间的干扰，并使测试项耗时降到 4~6s。本系统的开发属于 2022 年立项的科技部课题《5G 基站智能制造生产线》的课题之一，满足了 5G 超大规模基板大批量生产的检测质量要求，系统已部署到我司所有生产基地，并已申请两篇专利和 PCT 优先权。

后续，随着人工智能、大数据分析、工业互联网等多种智能制造技术深度融合，持续提升生产质量的同时，可节省更多的人力。本方案可以推广到 SMT 的 SPI (Solder

Paste Inspection, 锡膏检测)、印刷机、贴片机等工序，并可以实现前后工序间生产工艺的闭环提升。

参考文献

- [1] 樊成, 朱忠发, 王彬, 等. AOI 设备检验原理与检测技术应用及发展前景分析 [J]. 中国设备工程, 2023 (22): 4-6.
- [2] 美国电子电路和电子互连行业协会. SMEMA 标准机械接口标准: IPC 9851—2007[S].2007.
- [3] 柯明, 王向红, 卜秉彦. 一种 AOI 在线检测系统, 方法及电子设备: 202310224912.6[P]. 2024-06-21.
- [4] 黄海涛, 夏桂华, 杨磊. 一种印制电路板生产用 AOI 测试工艺改善方法: 202111612946.X [P]. 2024-06-21.
- [5] 李山, 尹勋超, 丁海峰. 一种基于深度学习算法的印制电路板 AOI 智能检测设备: 202210377279[P].2024-06-21.
- [6] 黄辉, 郭绍铮, 时广军, 等. 一种基于 AOI 检测的人工重新判定装置, 方法和系统: 202011623438.7[P]. 2024-06-21.
- [7] 周卫玲, 王大波, 邓可俊, 等. 集控式 AOI 检测技术在 SMT 生产线上的应用 [J]. 日用电器, 2020 (9): 103-108.
- [8] 谢志伟, 刘红卫, 张迪, 等. 单板处理方法, 上位机, 自动收板机, 设备及存储介质: 202210196435[P].2024-06-21.
- [9] 国际标准化组织. 信息技术 - 消息队列遥测传输 (MQTT) v3.1.1; ISO/IEC20922; 2016[S].2016.
- [10] 统雷雷, 姜田磊, 李鹏, 等. 针对 AOI 的不良品漏检的自动判定 [J]. 电子工艺技术, 2023, 44 (2): 59-62.

收稿日期: 2024-07-08