

# 电子装配行业的 MES 体系结构及技术实现

吴立辉, 张 洁

(上海交通大学计算机集成制造研究所, 上海 200240)

**摘 要:** 针对电子装配行业的特点和制造执行系统(MES)的需求, 采用基于 SOA 的设计方法和理念, 提出基于 Web 服务的 MES 软件体系结构, 建立基于工作流的电子装配过程实时可视化、实时生产排程、实时生产过程跟踪技术框架。提出基于 Web Services 技术和 J2EE 平台的软件体系结构技术实现框架。开发的 MES 系统应用在某 SMT 车间, 证明该系统具有较好的实时、可配置、可重构、可集成性能。

**关键词:** 制造执行系统; 软件体系结构; 工作流

## Electronic Assembly Industry MES Architecture and Technology Implementation

WU Li-hui, ZHANG Jie

(Institute of Computer Integrated Manufacturing, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240)

**【Abstract】** In order to meet demands of electronic assembly industry Manufacturing Executed System(MES), the MES software architecture of Web service is introduced, which is based on SOA. In order to develop MES software architecture, the implementation technologies of MES software architecture with workflow are researched. The frameworks of real-time visualization, real-time dynamic scheduling, and real-time process tracking of electronic assembly shop based on workflow are proposed. And the technology framework of MES software architecture is introduced based on the Web Services technology and J2EE development platform. The application of MES on a SMT shop shows that the software has well real-time, component-based, configuration and integration performance.

**【Key words】** Manufacturing Executed System(MES); software architecture; workflow

### 1 概述

电子装配行业主要包括整机装配、PCB 装配和芯片装配等, 随着行业竞争的加快, 产品生产周期变短, 物料品种增多, 订单变化加快, 装配过程变更频繁, 各种行业标准不断出台, 企业要求制造执行系统(Manufacturing Executed System, MES)能够满足车间的生产过程的实时可视化、实时生产排程、实时的生产过程跟踪, 同时实现系统的可配置、可集成, 以快速响应车间的变化、提高产品的质量、实现产品的有效追溯、提高系统的适应范围及提高企业利润率。

本文在对电子装配行业 MES 系统需求分析的基础上, 将工作流技术<sup>[1-3]</sup>与软件体系结构<sup>[4-5]</sup>研究相结合, 研究基于 Web 服务的 MES 系统软件体系结构, 以及软件体系结构实现过程中基于工作流的实时生产过程可视化、实时生产排程、实时生产过程跟踪等关键技术。

### 2 电子装配行业 MES 系统的需求

通过对多家企业调研和研究了解到, 许多电子装配企业的 MES 系统都是针对企业定制开发, 实现的主要功能包括生产资源管理、静态生产排程、质量管理、设备维护管理、物料管理、生产统计与报表等, MES 系统普遍存在实时的生产过程可视化、生产排程、生产过程跟踪能力差等问题, 不能适应电子装配企业生产变化。有以下几方面的需求。

#### 2.1 实时可视化需求

电子装配企业采用面向客户订单的生产方式, 产品生产节奏快、交货期短、订单变化快、物料品种多、装配过程变更频繁。须实时了解电子装配车间现场各生产单元的生产进

度, 以便于车间生产瓶颈的实时分析, 指导各生产单元任务的动态分配, 并为企业上层管理系统实时提供生产情况; 须实时显示装配 PCB、芯片、板卡等物料及在制品信息, 以指导车间现场物料的配送, 并实现电子装配的物料防错; 须实时显示电子装配设备的信息, 以实现设备故障的实时响应; 须实时显示质量监测信息, 以便在制品质量问题时及时处理、质量 SPC 统计信息的在线显示; 须对企业和关注的各种 KPI 指标(如 OEE 等)进行在线显示, 以快速对生产情况进行评估和诊断。因此, MES 系统应满足生产进度、在制品、物料、设备、质量等方面的实时可视化需求, 实现车间生产的透明化管理。

#### 2.2 动态排程需求

电子装配企业的产品种类繁多, 生产线多; 整个生产车间存在多种产品同时进行装配; 同一种产品存在分批进行加工, 不同批次可由多条生产线完成, 而效率各不相同; 每条生产线每天需要完成多种产品加工; 生产过程中存在分批和合批的现象, 生产排程比较复杂。因此, 须借助各种策略和智能方法, 最优化生产排程, 满足交货期, 使各生产线或单元的生产能力得到充分、合理利用。同时电子装配车间处在动态、多变的生产环境中, 装配过程中随时可能出现如物料

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(50575137); 国家科技支撑计划基金资助项目(2006BAF01A44)

**作者简介:** 吴立辉(1981 - ), 男, 博士研究生, 主研方向: 制造执行系统, 工作流技术; 张 洁, 教授、博士、博士生导师

**收稿日期:** 2008-07-17 **E-mail:** wu\_lihui@sjtu.edu.cn

缺失、机器故障、订单变更、质量故障等情况，导致当前的车间生产任务分配不合理，甚至出现任务安排冲突或失效。因此，要求 MES 系统实时响应车间的动态事件，实现电子装配车间基于事件的动态排程，以实现车间生产过程的实时优化，提高生产效率。

### 2.3 实时跟踪与追溯需求

电子装配企业生产周期短、产品种类和数量多，装配零件品种多，在遇到大批量产品出现质量问题时，须精确地追踪出问题的源头及涉及该源头的产品并实施召回。同时，由于 RoHS 指令、WEEE 指令以及《电子信息产品污染控制管理办法》等法规的要求，电子装配企业的电子信息产品中不得含有 6 种有害物质：铅，汞，镉，六价铬，聚溴联苯，聚溴联苯醚等元素。电子装配企业需要从原材料上线、生产、搬运、下线的整个过程记录装配零件信息、设备信息、质量信息和辅助承载具等信息，并且在生产的关键工序需要实施强制性标准；不同产品的装配工艺、质量标准、检测流程各不相同，产品生产跟踪的指标需要根据产品的具体要求配置。因此，要要 MES 系统根据不同订单和产品灵活配置跟踪信息，实时记录生产过程的跟踪，满足电子装配行业的生产管理和召回需求。

### 2.4 MES 的其他方面需求

部分电子装配企业同时存在 ERP、PDM 等信息系统，这些系统需要与 MES 系统进行信息交互和业务集成；同时企业为了降低 MES 的实施、维护和二次开发成本，需要 MES 系统实现业务流程、系统功能可配置和重构，以增强在电子装配行业的普适能力。

在电子装配行业 MES 系统实现过程中，针对 MES 的以上需求，本文从 MES 系统软件体系结构的层面出发，研究适合电子装配行业的 MES 系统体系结构和技术实现。

## 3 电子装配行业 MES 系统的体系结构

软件体系结构设计是软件开发实现过程中至关重要的一个环节，在电子装配行业 MES 系统体系结构设计过程中，针对 MES 的需求，采用 SOA(Service Oriented Architecture)的理念和方法，同时将工作流技术与 MES 系统功能相结合，本文提出基于 Web 服务的 MES 系统体系结构。

### 3.1 基于 Web 服务 MES 系统体系结构

基于 Web 服务的 MES 系统体系结构如图 1 所示。

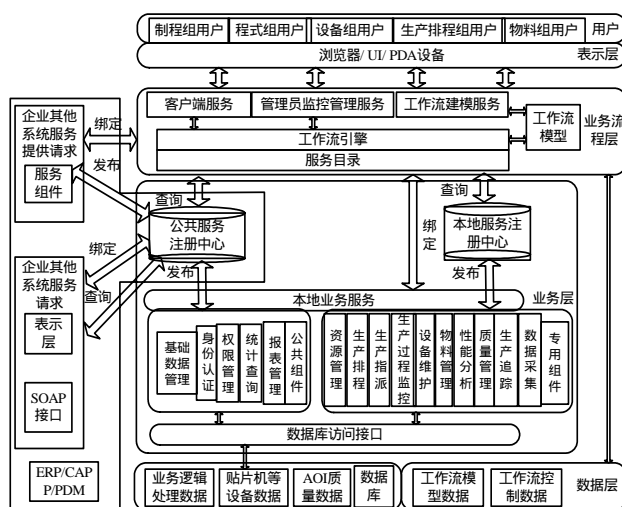


图 1 基于 Web 的服务 MES 系统体系结构

该系统体系结构分为 4 层：表示层，业务流层，业务

层，数据层。

#### 3.1.1 表示层

表示层是电子装配车间制程、程式、设备、物料等部门管理人员与 MES 系统交互的接口，客户端用户用浏览器与系统进行交互，完成对角色和用户的管理、对系统状态进行监控、对业务数据的输入、对业务逻辑的配置等功能。

#### 3.1.2 业务流层

业务流层实现业务流程的配置与控制、业务服务的调用，包括工作流引擎和应用服务两大模块。工作流引擎处理用户权限和流程管理等运行控制事务，它通过各个接口实现与应用服务业务层的功能组件服务之间的交互，从而完成相应的到功能。应用服务模块提供客户端服务、工作流管理监控服务、工作流建模服务等功能。

#### 3.1.3 业务层

业务层提供业务逻辑功能的具体实现和业务功能的封装服务，提供功能服务的统一映射接口以及本地服务的中心注册。MES 系统的功能构件包括公共组件和专业组建。公共组件为通用组件，为各业务模块及接口所共享，提供取各种身份认证、权限管理、数据报表、数据导出、信息查询等功能。专用组件为 MES 系统各模块提供个性化功能，包括资源管理、生产排程、生产指派、质量管理、设备管理、物料管理、生产跟踪与追溯等功能。业务层提供统一的数据库访问接口，实现对不同数据库的有效操作。

#### 3.1.4 数据层

数据层即数据库，负责管理业务逻辑处理数据、工作流控制数据和工作流模型数据。业务数据是 MES 系统业务逻辑操作处理的数据，如 PCB 等物料数据、波峰焊设备运行数据、AOI 质量数据、行业标准数据等。工作流控制数据包括电子装配车间可视化、生产过程跟踪、生产排程、车间故障处理等流程实例和活动实例信息，这些数据由工作流引擎维护，外部应用程序不能直接对其进行读写操作。工作流模型数据保存通过工作流管理系统建模工具定义好的模型数据，包括电子装配车间过程模型、组织模型、信息模型和资源模型等，如贴片模型、物料员模型、质量信息模型等。

### 3.2 体系结构特点

基于 Web 服务的 MES 系统体系结构可实现系统的功能服务、业务逻辑可配置，满足 MES 系统可重用、配置、集成和普适性需求，满足生产过程的实时管理与控制需求。主要优点表现在以下几个方面：

(1) 系统具有更多的重用。MES 系统各功能构件进行封装形成服务组件；通过对电子装配车间生产过程的设备、人员、物料等进行描述形成工作流管理系统的资源、组织、过程模型库。软件开发过程中重用和共享这些服务组件和模型库，可实现更有效的项目开发和交付，提高了 MES 系统的可重用性。

(2) 系统具有更高的业务灵活性。通过基于工作流的可视化、生产过程跟踪、生产流程配置，并与业务逻辑功能服务的松散耦合，可迅速配置和传送生产业务服务，满足不同企业及同一企业车间现场变化的管理控制的需求，提高了 MES 系统的可配置合扩展性。

(3) 系统可更方便地和企业其他系统集成。由于采用简单的、易于理解的标准 Web 协议作为构件封装描述和协同描述规范，完全屏蔽了不同软件平台的差异、软件实现技术的差异，因此可方便地与电子装配企业的 ERP、PDM 等信息系统

进行数据、功能、服务集成，消除电子装配企业的信息化孤岛，增加了MES系统的可集成性。

(4)系统具有更高的开发效率和更低的成本。由于将电子装配生产业务流程从“烟囱”状的、重复的流程向维护成本较低的高度利用、共享服务的应用转变，与传统的开发软件体系结构及开发方式相比，大大降低了集成的复杂性，提高了开发效率及车间信息化建设的投资回报率，增加了MES系统的普适性和竞争能力。

#### 4 电子装配行业MES的技术实现

在基于Web服务的MES系统体系结构的技术研究过程中，本文研究基于工作流的生产过程可视化、动态生产排程和生产过程跟踪技术。同时结合Web Services技术和J2EE开发平台，提出Web服务MES软件实现技术。

##### 4.1 基于工作流的生产过程实时可视化

基于工作流的电子装配车间可视化模型框架见图2。

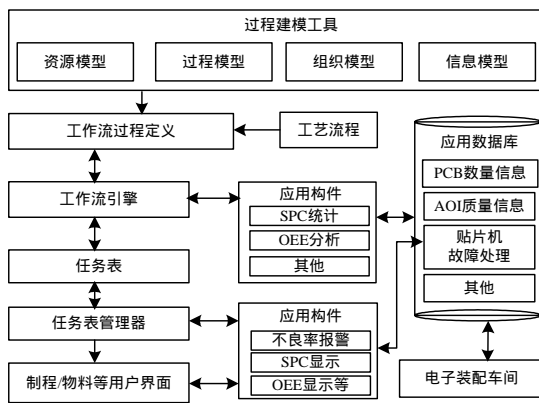


图2 基于工作流的电子装配车间可视化模型框架

在电子装配可视化定义过程中，根据电子装配不同产品的可视化需求和生产工艺流程，建立相应的过程模型，将过程模型与组织模型、资源模型进行关联，并设置相应的基于时间和事件的触发机制。在运行阶段，电子装配车间的信息实时采集零件数量、AOI测试信息、贴片故障等信息；在工作流引擎的驱动下调用SPC统计、OEE分析等组件进行数据处理；通过不良率、SPC显示等应用构件与任务表管理器进行交互，根据制程、物料、程式、设备组等不同权限，实时刷新用户界面的信息，实现电子装配车间的物料、设备、质量等信息的实时、个性化显示，满足车间透明化管理的需求。

##### 4.2 基于工作流的动态生产排程

基于工作流的实时动态生产排程逻辑框架见图3。

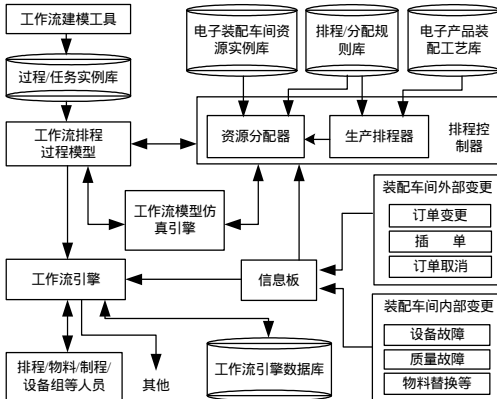


图3 基于工作流的动态生产排程逻辑框架

通过工作流管理系统对车间生产作业计划进行过程定义，设定任务的计划优先级，建立电子装配产品的过程/任务实例库。然后通过对过程模型实例化，形成工作流排程过程模型；过程模型调用排程控制器，利用分配规则进行资源分配；过程模型通过工作流模型仿真引擎驱动进行仿真，对模型的性能和干涉进行检验后，由工作流引擎驱动，推进过程的进行。在工作流引擎工作过程中，通过接口与电子装配车间制程组、设备组、物料组等操作人员交互；调用系统各服务组件实现具体功能；将工作过程的管理数据存入工作流引擎数据库。

##### 4.3 基于工作流的生产过程实时跟踪

基于工作流的生产过程跟踪子系统逻辑框架见图4。

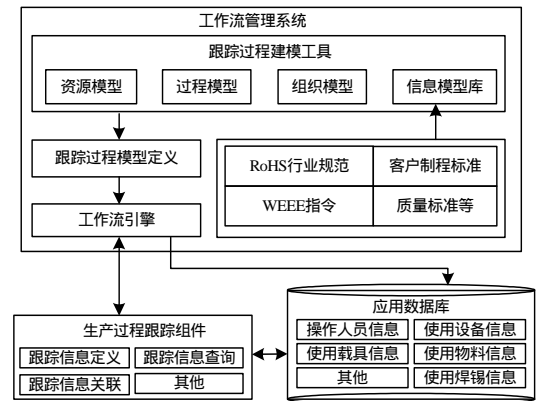


图4 基于工作流的生产过程跟踪子系统逻辑框架

根据电子装配行业RoHS、客户质量标准等建立工作流管理系统的信息模型库；通过工作流建模工具建立不同电子装配产品的个性化跟踪模型；由工作流引擎进行模型实例化后驱动运行，并调用相关的生产过程跟踪组件，实现电子装配过程跟踪。由于通过工作流管理系统可以对电子装配跟踪模型进行灵活配置，并且通过基于事件驱动工作流引擎与跟踪信息关联、跟踪信息定义等组件进行通信，实现跟踪业务流程和功能的松散耦合，因此可很好地满足跟踪柔性和实时性的需求，实现有效的追溯查询和产品召回。

##### 4.4 基于Web服务MES软件实现技术

面向服务架构的实现方法采用Web Services技术，而实现Web服务的主流开发平台主要有Microsoft.net平台和J2EE平台2种。虽然2种平台在MES系统的基于Web服务的软件实现方面各有优劣，但从系统的平台无关性、安全性、可伸缩性、可移植性等方面考虑，J2EE平台具有更大的优势。采用J2EE平台实现基于Web服务的MES系统的技术体系结构如图5所示。

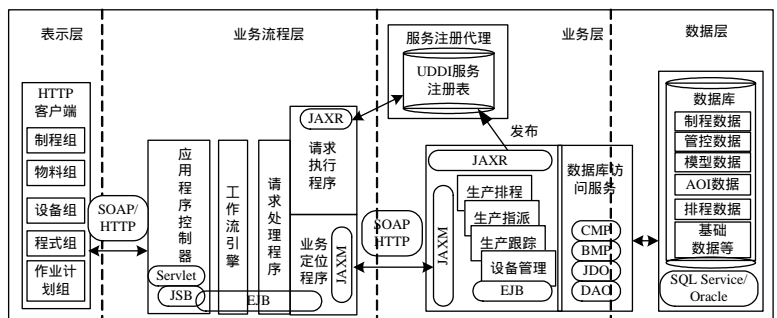


图5 基于Web服务的MES系统实现技术框架

(下转第18页)