

制造过程数据自动采集与关联技术研究

郝立峰 侯奇峰 赵雪峰

中国电子科技集团公司 第二十九研究所 四川 成都 610036

摘要：高密度微波组件工艺过程受到设备能力、工艺参数、来料状态等多维度因素影响，工艺过程监控需要大量的可信数据进行支撑。针对上述问题，结合高密度微波组件生产线建设，从数据采集与关联系统架构设计、系统功能设计与开发等方面开展了研究，并以点胶、贴片、键合等高密度微波组件的典型自动化工艺过程的数据采集与关联为对象进行了应用验证。结果表明，本文所提出的数据自动采集与关联技术方案可有效完成多台设备的数据自动采集与高质量关联，为工艺过程监控提供高质量数据。

关键词：高密度微波组件；制造过程数据；数据采集与关联；工艺过程监控

0 引言

高密度微波组件生产过程数据来源多样、形式异构。随着大数据技术和数据获取技术的发展^[1]，数据体量和数据并发量大幅提升。为了工艺过程监控需求，需要完成制造过程数据的采集和存储，并建立制造过程数据的高精度关联。

高密度微波组件生产过程数据来源于多种自动化加工设备、传感器、信息系统，具有大数据的3V特征，与商业大数据相比工业大数据数据获取成本较高、结构形式多样^[2]，在半导体、钢铁、能源等行业^[3-5]，已完成结合工业场景特点的大数据平台定制化构建，实现制造过程数据的采集和关联。

本文以高密度微波组件工艺过程监控需求驱动，采用维度建模的方式^[6]，完成面向高密度微波组件过程工艺

过程监控的制造数据采集与关联，并在点胶、键合、贴片工序进行应用验证。

1 架构设计

高密度微波组件多品种、变批量的生产模式使得整个制造过程数据体量巨大、关联关系复杂，但拆分至单一产品后数据总量较少、数据复用度低，难以支撑具体某种或某类产品工艺过程监控的应用需求。为了提升数据复用度，需要将数据关联粒度由序列号颗粒度提升至工艺结构级别，这造成数据关联复杂度爆发式增长。

参照工业大数据基础架构，如下图1所示，本文提出了由边缘层、持久化层、数据关联层、应用服务层组成的高密度微波组件制造过程数据采集与关联架构，完成采、存、管、用业务流程的数据贯通。



图1 数据采集与关联架构

2 功能设计与开发

2.1 边缘层数据采集

边缘层数据采集通过通讯协议、日志解析等方式从设备端获取原始数据和业务流程数据。设备端生产数据高并发、大体量的特点需要在数据关联之前构建分布式部署的边缘层数据采集作为缓冲。如图1所示,边缘端服务器分散部署在多个生产制造单元,并均安装数据采集软件和NOSQL数据库。

2.2 汇聚层数据持久化

汇聚层接入多个边缘端的数据完成数据归集,由于多个边缘端数据之和体量大、数据类型多,因此需要基于大数据技术完成数据的定时同步和持久化。汇聚层通过定时同步边缘端生产制造过程的底层原始数据和现有业务信息系统数据,形成制造端完整的数据集。

2.3 逻辑层数据关联

表1 事时表与维度表内涵说明

数据维度	数据类型	数据内涵
实时表	设备执行过程	定义设备加工的标准动作类型、动作重要度、动作顺序,从加工动作流程角度还原制造加工过程
	事实参数	在设备生产过程中设备常量,时序变量(设备传感器的真实参数)、状态变量(特定动作触发的传感器参数)
维度表	人员	人员ID、技能等级、所属班组等基本信息
	设备	设备ID、设备所属班组、设备维修保养有效期等维度
	加工程序	程序ID、程序编写人员ID、程序有效期、程序适用产品、程序版本、程序类型等
	订单	订单ID、订单计划、产品序列号、生产报工等
	工艺要求	工序生产程序要求、工序物料需求、工序人员需求、工序设备需求
	关联工序	关联工序ID,关联工序动作、关联工序参数

逻辑层数据关联完成数据逻辑关系构建,以工艺结

构级制造过程数据关联为目标,基于维度建模技术建立高密度微波组件生产制造过程数据仓库。事实表以设备的执行动作和动作关联参数作为主线,如表1所示,将设备加工过程拆分至设备动作颗粒度,完成事实数据的分类;维度表以工艺过程监控需求维度建立,包含人员、设备、加工程序、订单、工艺要求、关联工序六个大分类维度1。

如图1所示,事实表与维度表之间的关联手段分为直接关联和逻辑关联两类。直接关联通过边缘层数据采集过程中的属性和维度表直接映射关联;间接关联是逻辑计算后完成事实表和维度表之间的关联,主要应用手段有时间关联和基于产品工艺结构坐标位置的匹配关联,如对于点胶和贴片工序之间工艺参数的关联,通过点胶事实表中点胶区域坐标和贴片位置坐标匹配关联。

2.4 应用层模块化数据服务

如图1,应用层模块化数据服务直接面向特定的应用需求,基于数据仓库中的主题数据集,根据自身应用需求,结合OLAP数据分析思想,构建相关的数据处理和分析应用。

3 典型工序应用验证

以高密度微波组件点胶、键合、贴片工序的制造数据采集与关联为例,对本文设计的制造过程数据采集与关联架构有效性进行验证。

表2 工艺过程监控需求

工序	工艺结构	工艺过程监控需求
点胶	点胶区域MCM	点胶区域的点胶压力和Z向高度
贴片	物料贴装点	贴装位置的贴片压力和位置坐标波动
键合	键合线	键合点的超声压力、功率以及坐标位置

高密度微波组件点胶、贴片、键合工序的工艺过程监控的主要需求如表2。

3.1 功能验证

表3 各工序边缘层数据采集明细

工序	上传触发事件	报文参数明细	含义	采集模式
贴片	DiehasBeenPlaced (贴片完成)	PutX、PutY、Group	贴片位置坐标以及所属阵列组位置	SECSGEM事件订阅
		PutForce	贴片压力	
键合	BondFinished (键合点完成)	BondX、BondY、BondZ	键合点坐标x、y、z	SECSGEM事件订阅
		WireNumber、BondNumber	所属键合线编号、键合点编号	
		BondPower、BondForce	键合点超声功率和压力	
点胶	产品加工完成	HeightZ、Force、MCMNumber	测高位置、压力以及对应点胶区域编号	日志Log解析

边缘层数据采集:设备端工艺加工参数通过边缘端数据采集进行获取,在数据采集进入Nosql数据库完成边

缘层持久化时完成制造数据和订单ID的关联,以便于后续的追溯分析。

如表3,贴片、键合设备基于SECSGEM通讯协议的事件订阅模式完成数据采集;点胶设备的数据采集采用日志解析的方式进行。EAP服务器完成对报文的接收和解析后,将产品订单ID和报文数据在边缘层实时绑定和存储。通过3台边缘端数据采集服务器部署,实现峰值数据12万次/秒的K-value数据的写入。

汇聚层数据持久化:边缘端完成键合相关数据的采集,由于边缘端数据服务器的性能和存储空间约束,通过建立定时任务将边缘层相关数据同步写入Hbase中。

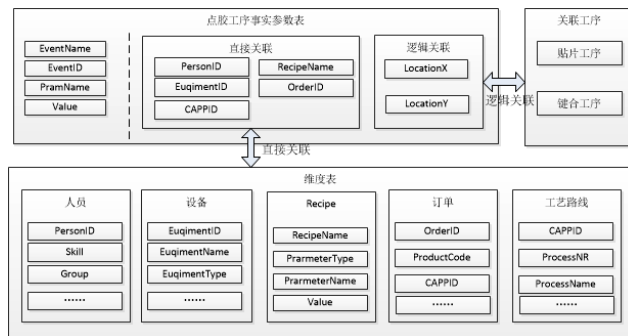


图2 逻辑层数据集获取目标数据

逻辑层数据关联:基于数据仓库建模工具以维度建模的思想构建数据仓库,根据工艺过程监控的应用需求建立如图2所示的实时表与维度表关联。实时表与维度表关联的分为直接关联和逻辑关联,直接关联是通过外键关联人员、设备、加工程序、订单、工艺路线五个维度信息;逻辑关联主要是多工序之间耦合数据的关联,其关联通过工艺结构点坐标位置进行关联。

应用层模块化数据服务:数据关联形成的数据集的基础上,应用OLAP实现工艺结构级的数据逐层钻取查询服务,以各工序采集的工艺结构坐标为数据基础绘制点胶、贴片、键合工序的工艺结构Map图,而后进行图层透视关联,点击对应的工艺结构则触发相关OLAP数据查询服务,实现工艺结构颗粒度的制造过程数据采集和追溯。

3.2 系统集成验证

以键合工序生产过程参数监控为例。如图3所示,其重要工艺过程监控点除了本身工艺参数外,还有键合点位置偏差造成的键合线跨距的波动,通过对数据集中焊点坐标进行分析,计算键合线跨距的波动数据的均值和方差,此数据对产品的射频性能有重要影响,作为重要

的SPC检测点进行控制。

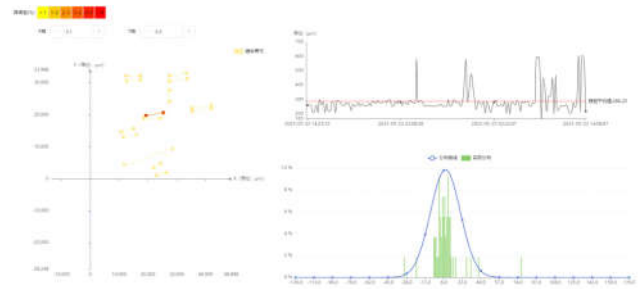


图3 键合工序跨距波动范围计算

4 结论

高密度微波组件工艺过程监控对制造过程数据的采集和关联提出较高要求。本文基于制造过程数据多源异构的现状,设计了面向高密度微波组件过程工艺过程监控的设备端制造数据采集与关联架构,采用维度建模的方式,完成工艺结构颗粒度的制造过程数据抽取与关联,在高密度微波组件的点胶、键合、贴片工序进行了应用验证,该架构支撑峰值数据12万次/秒的K-value数据的写入和自动关联,完成了工序间制造数据的耦合,实现了对基板测高偏差、贴片位置波动、键合线跨距波动的量化统计,为质量优化决策提供了可信数据源。

参考文献

- [1]张清华,高渝,申秋萍.数据科学:从数字世界到数智世界[J].数据采集与处理,2022,37(3):457-466. DOI:10.16337/j.1004-9037.2022.03.001.
- [2]陈楠,蔡跃洲.工业大数据的属性特征、价值创造及开发模式[J].北京交通大学学报(社会科学版),2023,22(03):25-36.
- [3]李莉,于青云,马玉敏,等.数据驱动的半导体制造系统调度[M].化学工业出版社:2020.20-26
- [4]韩志云.基于工业大数据平台的轧钢产线标准能耗体系建设研究[J].全面腐蚀控制,2026,40(2):112-114+121. DOI:10.13726/j.cnki.11-2706/tq.2026.02.112.03.
- [5]雷振,王世全,温钊,等.海上风电运维中的大数据管理和应用[J].海洋开发与管理,2021,38(12):93-97. DOI:10.20016/j.cnki.hykyfgy.2021.12.009.
- [6]姚乐.面向大规模数据的工业过程分布式并行建模及应用[D].浙江大学[2026-05-10].