

面向智能制造的车间大数据关键技术*

闵陶^{1,2}, 冷晟¹, 王展¹, 戴志强¹, 阳祥贵²

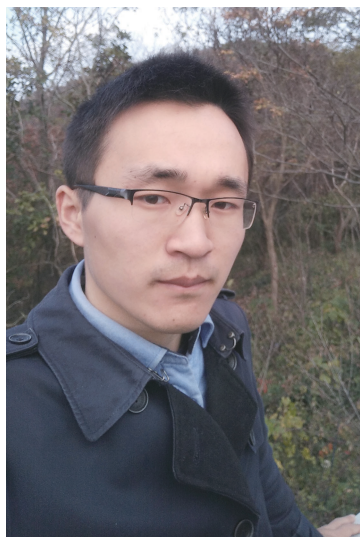
(1. 南京航空航天大学机电学院, 南京 210016;

2. 航空工业昌河飞机工业(集团)有限公司, 景德镇 333002)

[摘要] 随着“智能制造”理念的深入人心,制造业也开始逐步向智能化方向发展,大量数据采集设备在车间投入使用,采集了车间生产过程中的海量数据。大数据技术通过对这些数据进行分析处理,从而充分发挥数据的价值,提高企业的生产管理水平和提高企业的竞争力。通过对大数据在制造企业的应用进行分析,提出具有通用性的智能车间大数据处理平台架构,从数据集成、数据处理、数据分析3方面讨论了车间大数据技术,给出了大数据技术在智能车间的应用方向。大数据技术在车间的广泛应用必将给制造行业带来变革,将智能制造的发展推向新的阶段。

关键词: 智能制造; 大数据; 数据集成; 数据处理; 数据分析

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2018.12.051



闵陶
硕士研究生,研究方向为智能制造。

作为国民经济的支柱产业,制造业是工业化与现代化的主导力量,是衡量一个国家竞争力和综合国力的重要标志。当今世界科技发展日新月异,深刻影响了制造业,使其呈现出全新的发展态势。与此同时,大数据的战略重要性也引起了全世界的高度关注。联合国发布《大数据促发展:挑战与机遇》指出,大数据时代已经到来,这对于各国政府和联合国是一次重要的历史机遇。欧盟也呼吁欧盟各成员国应积极迎接大数据时代^[1]。利用大数据来促进制造业的发展已经成为西门子、劳斯莱斯等现代制造企业的共识。西门子利用大数据对来自于世界各地发电厂的海量数据进行分析,建立了远程诊断服务(Remote Diagnostic Services, RDS)来分析运营状况。发动机制造商劳斯莱斯将大数据与发动机健

康监测单元联系在一起,通过分析来自不同部件、系统和生产线的的数据,以提高产品质量^[2]。

我国也在《中国制造2025》提出,加快推动云计算、大数据等新一代信息技术与制造技术融合发展,把智能制造作为两化深度融合的主攻方向^[3]。传统制造业不断吸收机械、信息、材料等方面的最新成果,不断向“智能制造”方向发展。作为智能制造的引擎,工业大数据蕴含着巨大的经济社会价值。研究表明,将大数据利用率对企业人均产出率的提升进行研究,财富前一百强的企业人均产出提高14.4%,对制造业平均提升20%^[4]。

目前,对车间大数据尚没有统一的定义,但是普遍认为其具有典型的“3V”特征,即规模性(Volume)、多样性(Variety)、高速性(Velocity)^[5]。规

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51205201)。

模性是指数据量庞大,其计量单位至少以 PB 起步;多样性是指数据种类多,既包括来自 MES 等管理系统的结构化数据,也包括物料清单、检测图像等半结构化和非结构化的数据;高速性则体现在数据产生的速度快以及对数据处理速度要求高两方面。以刀具磨损声发射传感器为例,其采样频率高达 100kHz,每秒采集的数据量大小约为 10MB,长期积累下来无疑是巨大的。此外,国际数据公司认为大数据具有第 4V——价值性(Value),而且价值密度稀疏^[6],存在典型的“二八法则”,即 20% 的数据拥有 80% 的价值。除此以外,考虑到智能车间生产环境复杂、多变、扰动频发等特点,车间大数据还具有强相关、高噪声等特征。

智能制造融合了现代传感技术、网络技术、自动化技术等先进技术,大量传感器、数据采集装置等智能设备在车间投入使用,通过智能感知、人机交互等手段,采集了大量车间生产过程中的数据。这些数据涉及产品需求设计、原材料采购、生产制造、仓储物流、销售售后等环节,包括传感器、数控机床、MES (Manufacturing Execution System)、ERP (Enterpriser Resource Planning) 等相关信息化应用,数据情况十分复杂,数据的任何变化都可能影响车间运行性能^[7]。车间大数据贯穿车间生产的各个环节,它的应用带来的不仅仅是技术的进步,更是车间管理理念的一次重大变革,必将把智能制造的发展推向一个新高度。

制造业大数据的应用

推动智能制造的并不是大数据本身,而是其分析技术,大数据自身的价值只有通过分析挖掘才能显现出来。通过分析数据发现问题进而提供解决方案才是大数据应用的核心目的,其实质是对制造过程中产生的数据进行分析研究,挖掘出其中的

价值并反馈于生产,进而提高企业的生产管理水平和。

大数据与智能制造的关系如图 1 所示,大致可以分为以下 3 个层次:

(1) 把问题转换成数据。针对生产过程中出现的问题,对反映问题发生原因的数据进行分析和处理,从而知道怎样解决这些问题。

(2) 把数据转化为知识。从历史数据中挖掘出潜在线索、原因,从而对这些问题进行预测,防止其再次发生。

(3) 把知识再转换为数据。深度挖掘数据,分析数据和问题之间的相关性,从而优化整个生产流程,从根本上解决、避免问题的发生^[8]。

对车间大数据从采集到应用的整体架构如图 2 所示。目前大数据技术已经被应用在某些具体的车间生产场景,包括车间调度、工艺优化、故障追踪、过程优化^[9]等方面。Stasiukpiek^[10]通过对获得的车间物流数据进行大数据分析,提高物流的效率,大大降低了劳动力、仓储和物流成本。蔚利芝等^[11]将作业成本法与成本控制相结合,将大数据引入企业成本控制,建立了基于大数据的制造业作业成本控制体系。袁龙等^[12]提出采用粒子群算法优化神经网络嵌入遗传算法求解车间调度模型。陆健等^[13]基于大数据的失效分析技术,研究了制约先进集成电路良率的系统性问题,找到失效的真正工艺因素,提高了晶圆良率。赵新坤^[14]利用飞机制造装配过程中积累的海量

的历史工艺数据,建立基于知识的飞机装配工艺数据模型,实现飞机装配快速工艺匹配设计。

从上述研究中可以看出车间大数据应用比较广泛,每个制造企业都可以根据实际需求,运用其理论来采集、分析和研究与本企业相关的数据,提高企业的管理与制造水平。通过构建具有通用性的车间大数据处理平台,有效存储和管理制造过程中的海量数据,并对其进行灵活分析,最大化挖掘车间生产中累积的数据的隐藏价值,对于未来智能车间生产具有非常远大的意义。

车间大数据处理平台

随着以大数据为基础的数据业务逐渐增多,Hadoop 也受到了越来越多人的关注。考虑到 Hadoop 具有很好的通用性,适合智能车间大数据平台的搭建。通过大量廉价硬件设备组成 Hadoop 分布式处理系统,使用 Hadoop 分布式文件系统 HDFS (Hadoop Distributed File System) 存储车间生产过程中采集到的大量半结构化与非结构化数据,利用 MapReduce 分布式计算提供数据分布式处理,这种架构使得对大数据的存储与处理成为了可能。除此以外该框架还包括数据仓库 Hive、分布式数据库 HBase、数据同步工具 Sqoop、数据挖掘算法库 Mahout 等模块。这种大数据架构使得对数据量大小达 PB、ZB 级别的智能车间大数据的存储与处理成为了可能^[15]。基于 Hadoop 的车间大数据处理框架基本涵盖了大数据技术的所有环节,而且考虑到该架构具有高可靠性、高扩展性、高容错性等优点,这使其具有很好的通用性和可移植性。

如图 3 所示,对智能车间来讲,车间大数据的处理流程与传统数据处理流程并无太大差异,都是对多源异构的数据进行抽取和集成,选择合适的方法进行存储、分析,从中提取

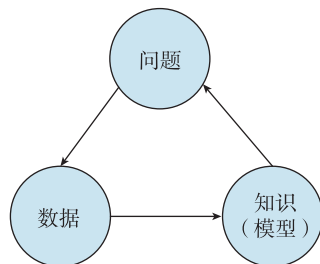


图1 大数据与智能制造的关系
Fig.1 Relationship between big data and intelligent manufacturing

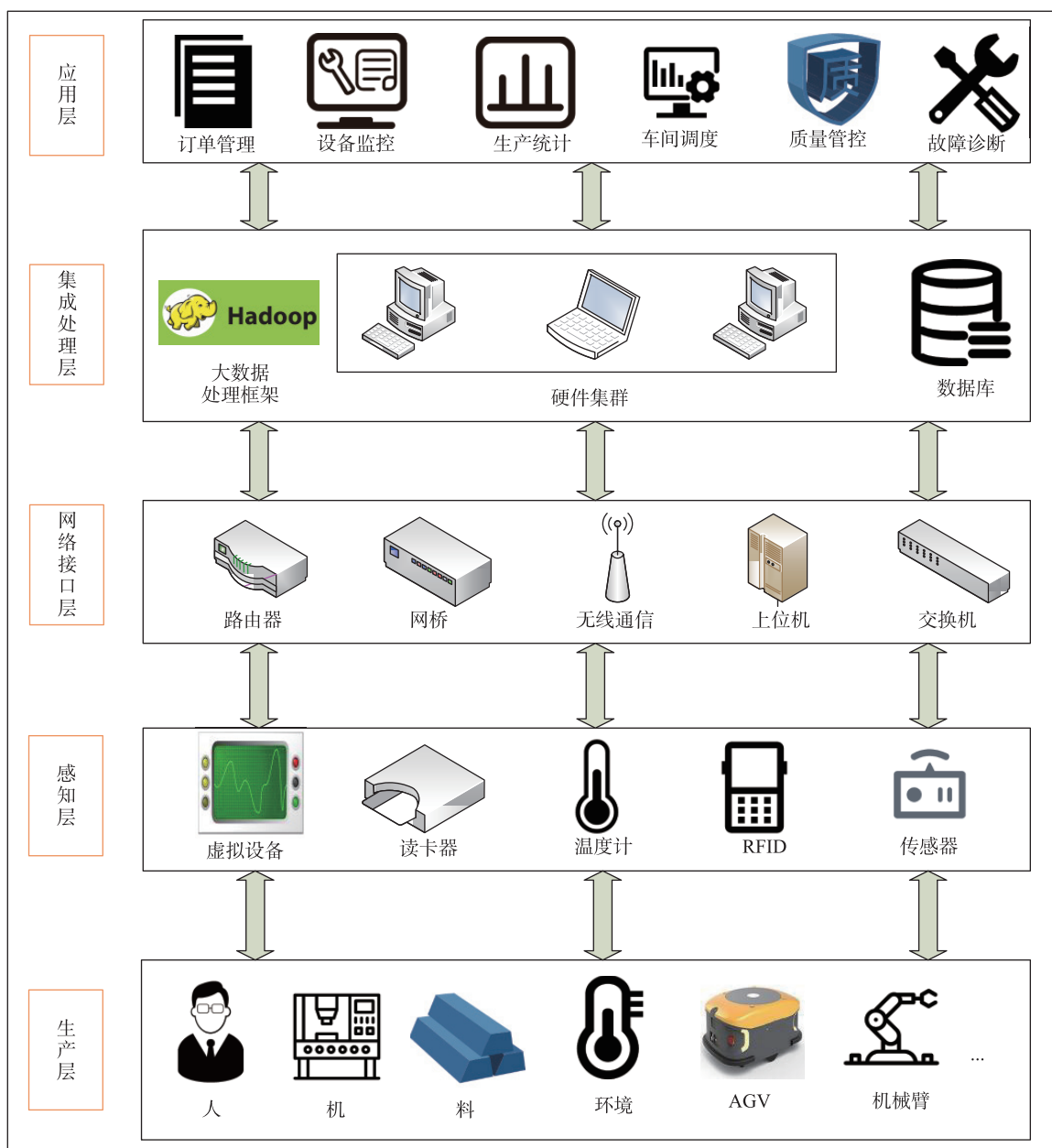


图2 智能车间大数据整体架构

Fig.2 Framework of big data in intelligent workshop

出潜在的、有价值的信息。车间内部包含着许多子系统,例如 ERP 系统、MES 系统、设备健康与监控、质量管理体系等,每一个子系统又可作为一个单独的数据源,产生着大量的数据,基于 Hadoop 的大数据平台,应与智能车间中来源丰富的数据相结合。对来自 MES、ERP 等系统的结构化数据,利用 Sqoop 从关系型数据库导出到 Hadoop 中的数据存储组件 Hive、HBase 中。对于传感器、机

床设备监测等实时海量数据或者质量检测图像等非结构化数据,由于数据量巨大,可选择 HDFS 进行分布式存储。在此基础上,应用 Hadoop 分布式处理框架 MapReduce 对数据进行分析处理,根据不同的应用需求建立数据模型,从而实现在车间不同场合、不同层次的应用。一方面可以对某一数据源单独进行数据分析,提高其应用价值,例如零件质量预测、生产调度等;另一方面将多个数据源

融合起来,对车间整体进行分析,达到提高车间的生产效率、降低生产成本的目的。

车间大数据关键技术

1 车间大数据集成技术

大数据集成技术就是把不同来源、格式、特点、性质的数据在逻辑上或者物理上有机地集中,为系统存储一系列面向主题的、相对稳定的、反映历史变化的数据集,从而为系统

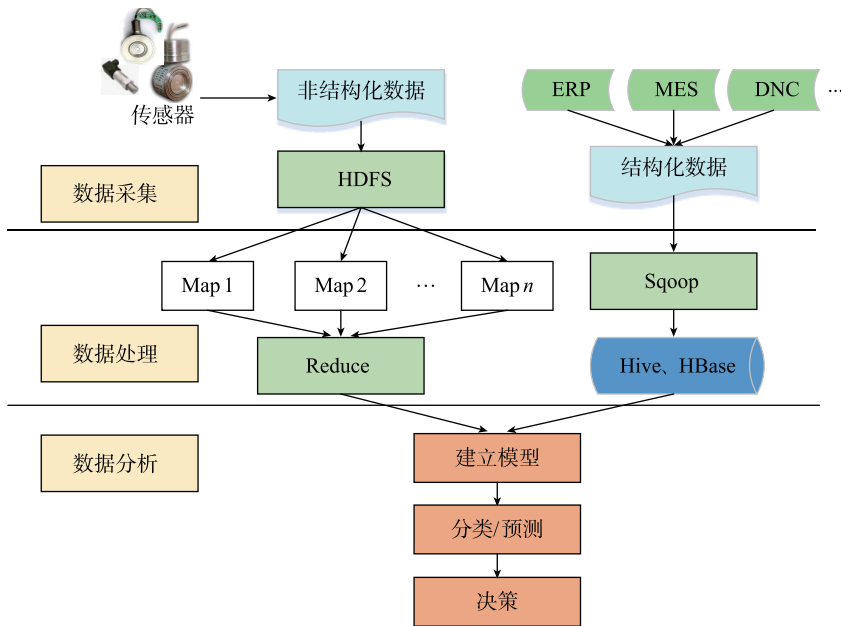


图3 智能车间大数据分析系统结构
Fig.3 Structure of big data analysis system in intelligent workshop

提供全面的数据共享^[16]。车间数据集成技术能够将车间内部各系统中数据集中起来,解决车间内部的“信息孤岛”问题,是数据挖掘的前提。

在集成过程中为了获得具有潜在价值的数 据,需要对其进行包括数据清洗、数据抽取、转换、加载等方面的工作。车间大数据涵盖车间生产的各个环节,这意味着数据来源广泛、类型十分复杂,既存在来自MES、ERP等管理系统的结构化数据,也存在数控程序、三维模型等非结构化数据,而且结合车间生产数据具有高噪声、多尺度等特性,直接对这些数据进行分析挖掘效率很低。为了避免这种情况,必须对车间数据进行抽取、集成,将这些复杂的数据转化为单一的或者便于处理的结构。大数据集成一般需要将处理过程分布到源数据上进行并行处理,并仅仅对结果进行集成,以数据或文件形式存储到数据仓库或分布式文件系统中,为后续分析处理做好准备。此外,车间采集的制造数据可能存在多读、漏读、误读等多种情况,这些情况降低了数据的可用性和可靠性,因此在

数据集成和抽取阶段应当对数据进行清洗,根据数据精确性、完整性、一致性、时效性等质量维度进行错误发现和修复,提高数据可信度。张洁等^[5]中提出应用过滤规则多级组合优化、基于本体论的数据统一建模等方法实现对车间制造数据的清洗去噪、建模集成。邵景峰^[17]利用D-S证据、增量聚类理论方法,对多源纺织数据集成技术难点进行设计,通过数据间的相关性实现纺织车间计划层与制造层之间信息的有效衔接。

车间大数据存储管理也是数据集成管理中的重要一环。采集到的数据必须选择合适的存储方式以方便后续数据挖掘的进行。传统的关系型数据库已经无法满足大数据处理的性能要求,而Hadoop的分布式文件系统(HDFS)则给出了很好的解决方案。Hadoop分布式文件系统工作原理如图4所示,在数据文件上传到HDFS里的时候,就被按照事先设定好的文件块大小进行划分,传输到不同的数据节点DataNode中,从而实现分布式存储。HDFS有着支持低延迟数据访问、高容错性、对硬

件要求低等优点^[18]。车间长期生产积累下来的海量历史数据或者非结构化数据,倘若选择专用存储设备,成本巨大,而且不利于后期数据分析。而将这些数据进行分布式存储,则充分利用了普通计算机硬件,而且直接将要被计算的数据分块存储到各客户机,消除了后续对数据进行分布式处理时数据传输带来的拥堵。

2 车间大数据处理技术

车间大数据应用涵盖描述、诊断、预测、决策等方面,为了满足这些应用的不同需求,需要有针对性地采取不同的数据处理技术,包括批处理(分布式计算)、流处理和内存处理。

批处理是一种新的计算方式,它研究如何把一个需要非常巨大的计算能力才能解决的问题分成许多小的部分,然后分配给许多计算机进行处理,最后把这些计算结果汇总起来得到最终的结果。目前最典型的一个分布式处理框架是MapReduce框架,如图5所示。这种框架不仅可以运行在普通计算机搭建的硬件集群上,而且能够轻松计算普通计算机无法处理的数据。在MapReduce中,将待处理的数据分成固定大小的输入块,交给不同的Map模块计算,并将键值对暂时写入磁盘,Reduce模块按照键值进行汇总并将结果写入分布式文件系统^[19-20]。批处理计算突破了单台计算机运算能力的限制,适合对车间长期积累下来的历史数据进行分析处理。

批处理技术适合于处理大批量静态数据,但是对于设备状态检测等实时性要求较高的应用,其所处理的数据由传感器源源不断的产生,而且数据价值往往会随着时间的推移而降低,在这种情况下批处理的效率往往无法满足需求。而流处理技术对这种数据的处理是非常有效的。传感器以高采样频率采集车间设备的数据,并将数据传送到客户机,流处

理无需准备时间,就能立即响应处理并得到结果,从而实现对设备状态实时监控^[21-22]。

内存处理技术是指CPU直接从内存中读取数据并分析处理的技术,克服了对磁盘读写操作时的大量时间消耗。对于来自ERP等信息管理系统的结构化数据,可以将一段时间内所有数据一次性全部读入内存,在此基础上进行实时分析,实现诸如市场分析、订单追踪等功能。目前多核CPU已经成为市场主流,而这种处

理方式能够充分发挥处理器的性能,具有极低的延迟,是车间大数据处理的重要方式^[23]。

3 车间大数据分析技术

大数据技术的根本驱动力是将信号转化为数据,将数据分析为信息,将信息提炼为知识,以知识促成决策和行动。挖掘车间大数据的价值就是提取隐含在车间大数据中的但又是有价值的信息与知识,从而为车间生产决策提供理论依据。常见的大数据分析技术主要有机器学习、

神经网络、数据挖掘等。田立瑞^[24]结合企业生产工艺的数据分析案例进行了详细阐述,提出了一种改进的针对大规模不均衡数据的聚类分析算法—STKmeans,其聚类效果远远高于传统聚类方法。钟福磊^[25]提出以支持向量机算法为核心的数据驱动方法,以盾构机中拼装机的液压系统为研究对象,对马达的运行数据进行分析来进行故障诊断。

过去车间运行决策都是依据准确的车间数据模型和算法来确定

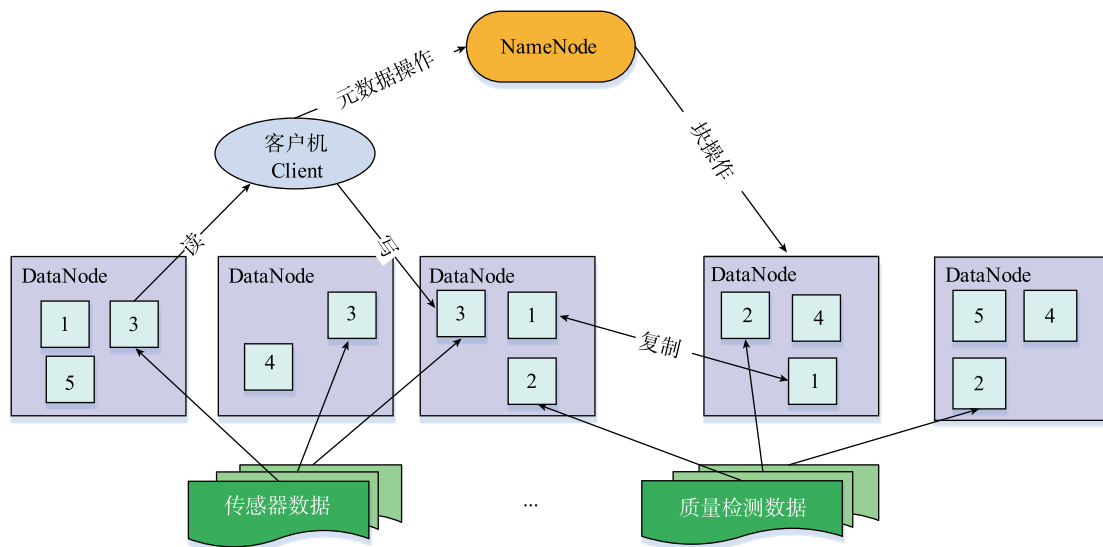


图4 Hadoop分布式文件系统
Fig.4 Hadoop distributed file system (HDFS)

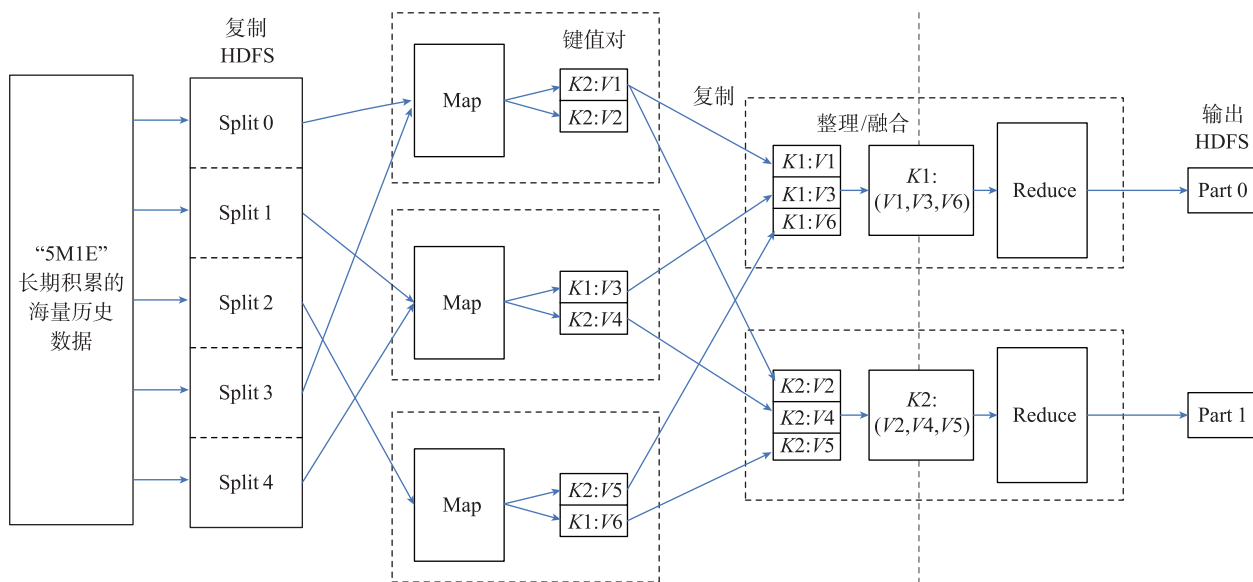


图5 基于Hadoop平台的MapReduce流程
Fig.5 Procedure of MapReduce based on Hadoop

的。通过分析参数和目标之间的关系,建立合适的数据库模型,在此基础上设计合适的算法求得最优解,以此来辅助车间决策。然而面对车间生产中越来越复杂的问题,建立精确的数据模型越来越困难。而大数据分析技术可以在完全不了解数据之间因果关系的前提下,快速、清晰地分析事物间的内在联系,获得最接近事实的结论。在实际生产中,依靠传统数据分析方式从海量数据中发现潜在有价值的信息来指导车间运行已经不实用了。而利用大数据分析技术发掘出新的描述、诊断、预测、决策模式,系统性地优化整个车间生产流程,将有效提高车间运行决策水平。

车间大数据的应用方向

大数据能够突破车间生产中隐性因素无法被量化的瓶颈,对车间生产全过程、全时段的状态进行充分诠释,发现问题并提出对策,从而提高车间生产管理。车间大数据的应用场合涵盖车间生产的各个环节,从描述、诊断、预测、决策等方面着手,在车间调度优化、工艺分析、成本控制等方面具有很高的应用价值(图6)。随着智能制造的深入发展,大数据技术在智能车间中将发挥越来越大的作用。

1 车间调度优化

车间生产调度是目前生产管理中最为薄弱的一环。考虑到实际工程问题的复杂性、大规模性、不确定性等特点,要寻找最优调度解是非常困难的,因此通常的做法是在有限、合理的时间内找出一个相对最优解。而大数据技术给车间调度优化提供了新的手段。从车间的海量生产数据中,利用神经网络、遗传算法等数据挖掘算法分析获取影响计划调度优化的因素,进而利用这些影响因素及其他相关数据完成相对最优计划编制方案的制定。

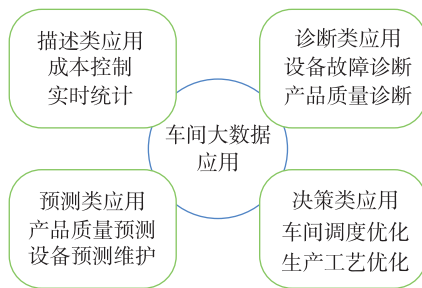


图6 车间大数据应用

Fig.6 Applications of big data in workshop

2 设备监控与故障诊断预测

在车间现场管理中,机床设备作为“5M1E”(人、机、料、法、环、测)中的重要一环,一旦出现问题,会对生产进度产生极大影响,造成重大经济损失。随着无所不在的传感器、物联网技术、信息技术的引入使得故障实时诊断变为现实,而数据挖掘、建模则使得预测动态性成为可能。大数据技术一方面可为客户提供更可靠的服务,如设备的状态监控、设备故障的及时精准定位排除等。与此同时,对比分析根据设备使用过程中的历史数据信息建立的数据模型可对设备的使用寿命进行预测,对可能出现的故障进行及时预警。

3 产品质量分析与工艺优化

为了保证产品质量,质检是必不可少的步骤,其通常在产品每道工序完成或者产品加工完成时进行,无法在加工过程中得到产品质量信息。而大数据技术通过对产品海量历史质量数据进行分析,结合“5M1E”原则,利用数据挖掘算法从中选择影响产品质量的因素,从而建立影响产品质量的因素记录集作为质量预测模型的输入,再结合加工过程中实时数据即可实现对产品质量的预测及生产工艺的优化。

4 成本控制

车间成本控制和管理对企业发展是非常重要的。现代制造业的产品生产大体上可分为产品设计、材料采购、产品制造等阶段,为了控制生产成本,需要考虑整个产品生产过

程。在产品设计中根据工艺条件,合理选择设计参数和选材,以及采用合理的结构;对供应商的行为进行管理,从供应效率、材料质量、价格等方面综合评价供应商供货行为,择优进行合作;对产品制造过程的工艺进行实时调整。而基于大数据环境,考虑整个产品生产价值链,最大限度上减少人为因素的干扰,从而建立新的成本控制模式。

结论

在分析了大数据与智能制造的相互关系的基础上,给出了具有通用性的基于Hadoop的车间大数据处理平台,从数据集成、数据处理、数据分析3个方面阐述了车间大数据平台的关键技术,为智能车间大数据平台的搭建提供了参考。目前大数据技术在很多行业已经获得了广泛的应用,包括医疗、金融、商业等领域,而在制造业尤其在智能车间方面尚有很大的发展空间与应用价值。在车间智能化发展趋势下,结合大数据的技术优势和车间在生产管理、制造技术、质量成本方面的应用需求,通过自动化算法替换或支持人为决策,通过智能挖掘进行优化,发挥车间大数据的价值,将为智能制造的发展带来新的契机。

参考文献

[1] 顾荣. 大数据处理技术与系统研究[D]. 南京: 南京大学, 2016.
 GU Rong. Research on big data processing technology and system[D]. Nanjing: Nanjing University, 2016.
 [2] ZHONG R Y, NEWMAN S T, HUANG G Q, et al. Big data for supply chain management in the service and manufacturing sectors: challenges, opportunities, and future perspectives[J]. Computers & Industrial Engineering, 2016, 101: 572-591.
 [3] 郭贺铨. 工业大数据助力“制造”转型“智造”[J]. 智能城市, 2017, 3(8): 4-10.
 WU Hequan. Industrial big data transform

- “Manufacturing” to “Intelligent manufacturing” [J]. *Intelligent City*, 2017, 3(8): 4–10.
- [4] 周济. 智能制造——“中国制造2025”的主攻方向[J]. *中国机械工程*, 2015, 26(17): 2273–2284.
- ZHOU Ji. Intelligent manufacturing—the main direction of “Made in China 2025” [J]. *China Mechanical Engineering*, 2015, 26(17): 2273–2284.
- [5] 张洁, 高亮, 秦威, 等. 大数据驱动的智能车间运行分析与决策方法体系[J]. *计算机集成制造系统*, 2016, 22(5): 1220–1228.
- ZHANG Jie, GAO Liang, QIN Wei, et al. Big data-driven methodology of performance analysis and decision in intelligent workshop[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2016, 22(5): 1220–1228.
- [6] 涂新莉, 刘波, 林伟伟. 大数据研究综述[J]. *计算机应用研究*, 2014, 31(6): 1612–1616.
- TU Xinli, LIU Bo, LIN Weiwei. Review on big-data research[J]. *Application Research of Computers*, 2014, 31(6): 1612–1616.
- [7] 罗松. 大数据在自动化车间的应用[J]. *中国设备工程*, 2017(13): 109–110.
- LUO Song. Applications of big data in automated workshop[J]. *China Plant Engineering*, 2017(13): 109–110.
- [8] 徐伟峰. 埃美柯阀门车间智能制造系统改造方法研究[D]. 宁波: 宁波大学, 2017.
- XU Weifeng. Study on modification method of intelligent manufacturing system of Armco valve workshop[D]. Ningbo: Ningbo University, 2017.
- [9] GIJERJ S. Big data in the industry—overview of selected issues[J]. *Management Systems in Production Engineering*, 2017, 25(4): 251–254.
- [10] STASIUKPIEKARSKA A K, WYRWICKA M K. Organizing—still an important function of production management[J]. *Research In Logistics & Production*, 2015, 5(2): 129–142.
- [11] 蔚利芝, 樊燕萍. 基于大数据的制造业作业成本控制体系构建[J]. *数学的实践与认识*, 2017, 47(7): 63–69.
- WEI Lizhi, FAN Yanping. Construction of operation cost control system in manufacturing industry based on big data[J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2017, 47(7): 63–69.
- [12] 袁龙, 王俊棋, 陈宇轩. 动态作业车间调度知识推理方法研究[J]. *农业装备与车辆工程*, 2017, 55(12): 89–92.
- YUAN Long, WANG Junqi, CHEN Yuxuan. Research on inference method of scheduling in dynamic workshop[J]. *Agricultural Equipment & Vehicle Engineering*, 2017, 55(12): 89–92.
- [13] 陆健, 杨冬琴, 黄倩露, 等. 基于大数据分析的半导体工艺的良率提升研究[J]. *南通大学学报(自然科学版)*, 2016, 15(4): 17–21.
- LU Jian, YANG Dongqin, HUANG Qianlu, et al. Study on the yield enhancement of semiconductor craft based on big data analysis[J]. *Journal of Nantong University(Natural Science Edition)*, 2016, 15(4): 17–21.
- [14] 赵新坤. 飞机装配大数据挖掘技术研究[D]. 沈阳: 沈阳航空航天大学, 2016.
- ZHAO Xinkun. Research on big-data mining technology in aircraft assembly[D]. Shenyang: Shenyang University of Aeronautics and Astronautics, 2016.
- [15] 宋亚齐. 云平台下电力设备监测大数据存储优化与并行处理技术研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2016.
- SONG Yaqi. Research on optimization of large data storage and parallel processing technology for power equipment under the cloud platform[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2016.
- [16] 彭小圣, 邓迪元, 程时杰, 等. 面向智能电网应用的电力大数据关键技术[J]. *中国电机工程学报*, 2015, 35(3): 503–511.
- PENG Xiaosheng, DENG Diyuan, CHENG Shijie, et al. Key technologies for power big data in smart grid applications[J]. *Proceedings of the CSEE*, 2015, 35(3): 503–511.
- [17] 邵景峰, 贺兴时, 王进富, 等. 大数据环境下的纺织制造执行系统设计[J]. *机械工程学报*, 2015, 51(5): 160–170.
- SHAO Jingfeng, HE Xingshi, WANG Jinfu, et al. Design of textile manufacturing execution system in big data environment[J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2015, 51(5): 160–170.
- [18] 蒋鸿斌. 基于HDFS的分布式存储的研究与优化[D]. 成都: 电子科技大学, 2017.
- JIANG Hongbin. Research and optimization of distributed storage based on HDFS[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2017.
- [19] BECHINI A, MARCELLONI F, SEGATORI A. A mapreduce solution for associative classification of big data[J]. *Information Sciences*, 2016, 33(2): 33–55.
- [20] 李少波, 陈永前. 大数据环境下制造业关键技术分析[J]. *电子技术应用*, 2017, 43(2): 18–21.
- LI Shaobo, CHEN Yongqian. Analysis of key technology in manufacturing industry under big data environment[J]. *Application of Electronic Technique*, 2017, 43(2): 18–21.
- [21] 崔星灿, 禹晓辉, 刘洋, 等. 分布式流处理技术综述[J]. *计算机研究与发展*, 2015, 52(2): 318–332.
- CUI Xingcan, YU Xiaohui, LIU Yang, et al. Overview of distributed flow processing technology[J]. *Journal of Computer Research and Development*, 2015, 52(2): 318–332.
- [22] 穆化鑫. 基于Storm引擎的物联网异构数据融合系统的设计与实现[D]. 北京: 北京邮电大学, 2015.
- MU Huaxin. Design and implementation of heterogeneous data fusion system of Internet of things based on Storm engine[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2015.
- [23] 罗乐, 刘轶, 钱德沛. 内存计算技术研究综述[J]. *软件学报*, 2016, 27(8): 2147–2167.
- LUO Le, LIU Yi, QIAN Depei. Review of memory computing technology[J]. *Journal of Software*, 2016, 27(8): 2147–2167.
- [24] 田立瑞. 面向生产制造的大数据分析平台技术研究[D]. 济南: 山东大学, 2017.
- TIAN Lirui. Study on big-data analysis platform technology for manufacturing[D]. Jinan: Shandong University, 2017.
- [25] 钟福磊. 工业大数据环境下的混合故障诊断模型研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2015.
- ZHONG Fulei. A study of hybrid modeling technique for fault detection based industrial big data[D]. Xi'an: Xidian University, 2015.

通讯作者: 冷晟, 博士, 副教授, 研究方向为数字化制造与智能制造、制造系统集成, E-mail: meesleng@nuaa.edu.cn.

Review on Key Technologies of Workshop's Big Data for Intelligent Manufacturing

MIN Tao¹, LENG Sheng¹, WANG Zhan¹, DAI Zhiqiang¹, YANG Xianggui²

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;
2. AVIC Changhe Aircraft Industry (Group) Corporation Ltd., Jingdezhen 333002, China)

[ABSTRACT] As Intelligent Manufacturing gets great support, the manufacturing industry is gradually developing more and more intelligently. A large number of data acquisition equipment has been utilized in workshops, collecting mass data of the production. By analyzing these data, big data technology can give full play to the value of data, raise the management level, and improve the competitiveness of enterprises. Combing the applications of big data in manufacturing enterprises, the framework of big data processing platform in intelligent workshop is put forward. Based on data integration, data processing and data analysis, big data technology is fully discussed, and the direction of its application in workshop is pointed out. Big data technology is of great value to the production in the intelligent workshop and its wide application will bring great changes to the industry and boost the development of intelligent manufacturing into a new stage.

Keywords: Intelligent manufacturing; Big data; Data integration; Data processing; Data analysis

(责编 大漠)

(上接第 50 页)

[11] 张国军, 黄刚. 数字化工厂技术的应用现状与趋势 [J]. 航空制造技术, 2013, 56(8): 34-37.

ZHANG Guojun, HUANG Gang. Digital factory: its application situation and trend [J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013, 56(8): 34-37.

[12] 曹伟, 江平宇, 江开勇, 等. 基于

RFID 技术的离散制造车间实时数据采集与可视化监控方法 [J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23(2): 273-284.

CAO Wei, JIANG Pingyu, JIANG Kaiyong, et al. Radio frequency identification-based real-time data collecting and visual monitoring for discrete manufacturing workshop [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2017, 23(2): 273-284.

[13] ZHANG Y, ZHANG G, WANG J, et al. Real-time information capturing and integration framework of the internet of manufacturing things [J]. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2012, 28(8): 811-822.

通讯作者: 陈振, E-mail: chenchen1451@163.com。

Digital Twin-Based Production Management and Control Mode for Aircraft Assembly Shop-Floor

CHEN Zhen, DING Xiao, TANG Jianjun, LIU Yusong
(AVIC Chengdu Aircraft Industrial (Group) Co., Ltd., Chengdu 610091, China)

[ABSTRACT] The interconnection between the physical world and the information world in the aircraft assembly workshop has become the trend of aircraft assembly intellectualization. Digital twin is an effective technology to achieve interaction and integration between the physical world and the information world. This paper analyzes the development of the aircraft assembly shop-floor and expounds the characteristics and problems of the aircraft assembly shop-floor. On this basis, the framework of digital twin shop-floor for aircraft assembly, which covers the physical assembly shop-floor, the virtual assembly shop-floor, the twin data of the shop-floor and the assembly shop service system, is proposed. The key technologies such as real-time perception and acquisition of the physical assembly shop-floor data, modeling and simulation technology of virtual assembly shop-floor, digital twin and data-driven of the assembly production management and control are illustrated in detail. This study will provide reference for intelligent manufacturing in aviation industry.

Keywords: Aircraft; Assembly workshop; Production management and control; Digital twin; Intelligent manufacturing

(责编 大漠)