

基于节点的制造执行系统构建方法*

Method of MES Constructing Based on Node

西北工业大学 张晶 何卫平 张维 常仕军

[摘要] 针对传统MES存在的业务逻辑层与数据层关系模糊、模块紧耦合等问题,提出了基于节点的MES构建方法,并引出了节点的定义及通过 workflow 实现节点的方法。在节点的基础上分别分析并提出了单个节点及节点集的定义、作用及实现方式,并在 workflow 驱动的基础上进一步提出基于节点构建方法的具体实现,从而在局部和整体两方面实现了系统功能,并消除了数据层与业务逻辑层的盲区,保证了模块之间的松耦合。

关键词: 制造执行系统 workflow 节点 松耦合

[ABSTRACT] The method of MES system constructing is aimed to solve the problem existed in the traditional MES system, which is a blur relation among business logic layer and data layer and tight coupling of modules. And the definition of node and the method of work flow carrying out node are educed. Based on node, the definition, function and realizing way of single node and node gather are analyzed and put forward respectively. And further the concrete realization of the constructing method which is based on node on the foundation of work flow driving is put forward. Thus the system function is carried out in both aspects and the whole side. And the blind area between data layer and business logic layer are cleared up, the loose coupling of modules is guaranteed.

Keywords: MES Work flow Node Loose coupling

制造执行系统(Manufacturing Execution System, MES)是近几年无论在国内还是国际都迅猛发展的、面向车间层的生产管理技术和实时信息系统。如图1所示, MES处于ERP和车间控制系统之间,它负责接受ERP系统提供的生产计划,并能够及时将计划状态、生产情况等车间现场数据反馈给ERP及其他系统,ERP等系统在接收到反馈数据之后,就能够及时地做出协调,修改相应的计划等,达到与车间层的和谐互动。同

时MES将各种控制参数和操作指令发送给控制系统或生产一线的工人,有效组织生产,并且MES能够及时准确地从控制系统或生产现场通过自动或半自动的方式采集任务、设备、人员等数据,达到掌控生产现场的目的。与此同时, MES可以依据自身获得的数据与其他系统(如供应链管理系统、物资系统、后勤系统等)互动,从而优化整个生产过程,确保企业的整体效率最优。

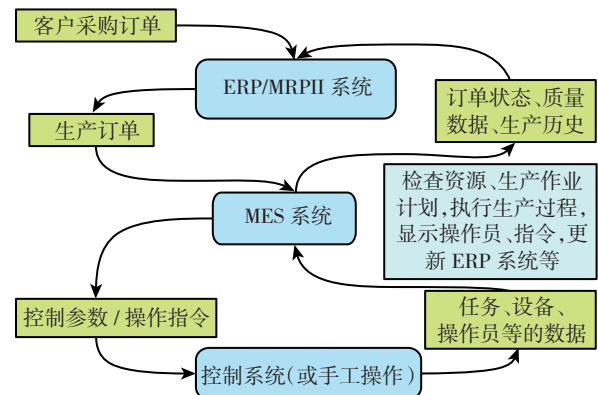


图1 MES在工厂中的数据流
Fig.1 Data stream of MES in factory

所以, MES有效地解决了计划层和过程控制层之间的“断层”问题,能够为企业快速、敏捷的制造环境,帮助企业降低成本,提高生产效率和产品质量。虽然MES作用如此重要,并且能为企业带来长远效益,但纵观许多企业的MES建设,大多存在着不能适应车间灵活多变的生产情况、模块之间耦合紧、业务变更和升级困难等问题。所以本文提出了基于节点的MES快速构建方法,力图改善这些不足。

1 分析并提出MES实现的新思路

传统MES是以各个功能模块为导向,结合不同企业的不同需求,分析业务逻辑,并抽象化后用计算机语言表达,数据来源于其他系统、用户输入或设备采集等数据源。这样的系统看似实现了不同功能模块的各种业务,而且也根据需要在业务逻辑处理或前端显示时取

* 国家自然科学基金项目(50505039)和国防基础科研项目(B2720060292)资助。

得了数据,但是背后却隐藏着 2 点问题。

(1) 系统的数据层与业务逻辑层没有清晰的映射关系。业务逻辑只是在需要的时候组织并获取数据,这使得数据层与逻辑层之间的关系变得复杂、模糊,也为以后的业务变更和系统升级带来了潜在的问题。

(2) 不同模块的功能是以业务逻辑为主要目标来组织数据并实现,忽视了业务逻辑层对其他层的影响,致使业务逻辑层充斥着许多大粒度的业务逻辑单元,有的甚至跨越几个功能模块,从而导致了模块之间的紧耦合,如图 2 所示。

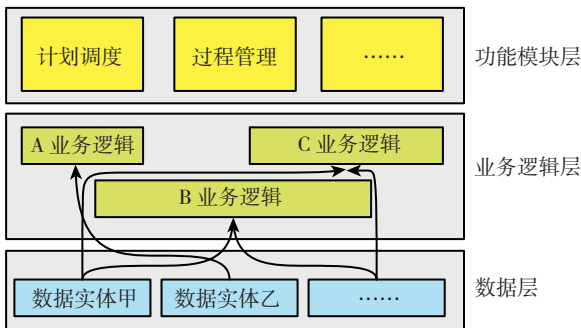


图2 传统MES系统层次抽象图

Fig.2 Abstract diagram of traditional MES system gradation

从以上的分析中我们可以得到以下 3 点启示：

(1) 对于前面第一点问题,假设在数据与业务逻辑之间有个实体来负责组织关联,则可以避免产生数据层与业务逻辑层之间的盲区。

(2) 对于前面第二点问题,假设所有功能模块的下层存在一个公共的支持层。在这个支持层中分布着相同类型的单元,它们类似于原子,以自己的属性、行为和组合方式对模块的功能进行实现。由于这个支持层是独立于功能模块并贯穿整个功能模块的下层,所以就避免了各个功能模块之间因业务逻辑或数据调用而直接发生关联,进而也就消除了紧耦合。

(3) 同时,在我们以往的 MES 项目中,发现 MES 各个功能模块的操作对象或数据来源都是生产实例。例如一批轴从开始生产到入库的整个过程就是一个轴零件的生产实例。而生产实例的每个环节(节点)则与前面提到的原子类似,并基本符合我们的假设条件。

正是在这些分析的基础上,我们进行推想、实践,提出了基于节点的 MES 构建方法,设想的 MES 系统层次抽象图如图 3 所示。

2 基于节点的构建方法

2.1 节点的定义与分类

MES 重点在于车间的制造执行,它的主体计划来自

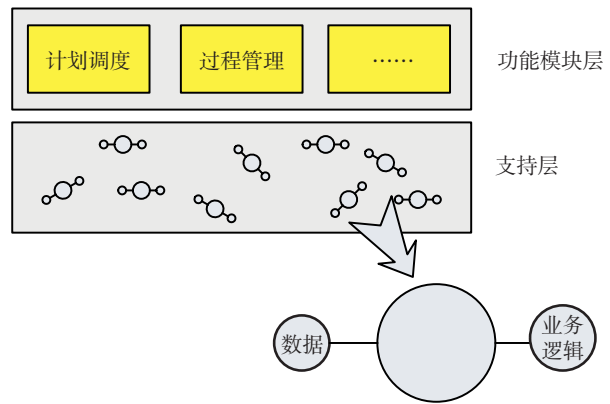


图3 设想的MES系统层次抽象图

Fig.3 Abstract diagram of envisaged MES system gradation

ERP 等系统,指令发送给控制系统或工人。所以重点在于从车间的制造执行过程中提出基于节点的构建方法,以解决前面所提到的 2 个问题。

对于包括批产与研制混合性企业在内的大部分生产企业,在得到了经过排产的详细生产计划后,接下来的任务就是按照详细生产计划执行生产过程中的各个环节,我们称之为节点。节点是一个在很多学科、行业都有其特定含义的广泛概念,在此针对 MES 我们提出节点的新含义,即节点就是生产中的各个业务环节,例如,生产过程中的各个加工工序就是典型的节点,当然外协、入库等业务节点也属于我们的节点之列。

需要指出的是,我们定义的节点都有其自身的业务意义,所以对各种节点,需要在定义的基础上对其进行组织分类。节点分类的原则之一是尽量细化,这样在选取节点集合的时候才会游刃有余(分类越细,维护难度也越大),如“机加工”就是一个比较粗的分类。节点的分类信息以树状结构来组织,其相关数据作为属性在节点实体中被维护。

图 4 中,我们从单个或多个节点中可以得到大量的信息,包括人员、设备、任务、起止时间等。而这些信息可以作为质量控制、性能分析、产品跟踪等模块的数据基础。再进一步,将这些信息作为单个或多个节点对应业务逻辑的输入,通过业务逻辑处理(或者无需输入的业务逻辑直接执行后),根据业务逻辑具体情况可能触发一定的业务事件,如反馈、超差处理等。而这些业务逻辑及业务事件可以作为计划调度、过程管理等模块的重要实现部分。这样就能从全局的角度认识到节点与各个功能模块之间的关系,认识到它与我们在上文所假设的支持层中的原子非常相似,认识到节点是 MES 的一个重要实现基础。

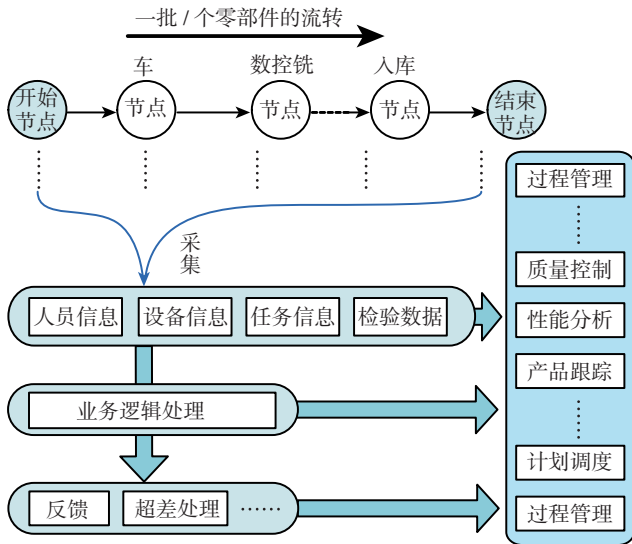


图4 节点作为MES实现的基础示意图

Fig.4 Diagram of node as a basis for realization of MES

2.2 workflow实现的基于节点的生产模式

对于不同的企业、不同的业务，节点之间的流转是不同的，而这个流转的工作就要借助工作流^[1]来完成。由于MES有许多特点，比如业务灵活多变、实时性要求高、对工作流接口的要求要比一般系统丰富等^[2-5]，而一般的工作流大多是第三方开发的，并非针对MES，所以它们在处理常规业务流程时，比如应用于OA系统，表现不错。不过通用性越强，效率越低，为了保证效率，一般工作流都会对接口做出严格的限制，只提供给用户有限的接口。这样虽然保证了系统运行的稳定性，却丧失了使用的灵活性。而我们需要的是设计一个能适应MES灵活多变特性，提供尽可能多的接口，操作稍显复杂但能保证灵活性的工作流。因为是针对MES，所以没有第三方工作流大而全的缺点，去掉了一些使用不到的周边工具，精简了引擎，丰富了核心接口的实现方式，运行高效快捷。

在具备了适应于MES特点的工作流后，就可以使用工作流系统对MES的各种生产流程建立模型，使用工作流驱动生产过程的推进和各种处理。从图4可知，生产的每个节点可以被工作流的活动所承载，工作流成为了生产流程运行的平台和容器。这样，生产流程便能顺利地按照业务的要求进行流转，直到完成整个流程或在某些特定情况下终止。同时，各个节点在业务上并不是孤立的，如图5所示，它们都隶属于一个(批)零部件的生产实例。体现在工作流上，各个生产流程模型的实例将各个节点有机地“串”起来，而多种生产实例又为某种产品服务。一个产品下，一种零部件根据生产计划可能会有1个或多个生产实例。图5就形象地表达了

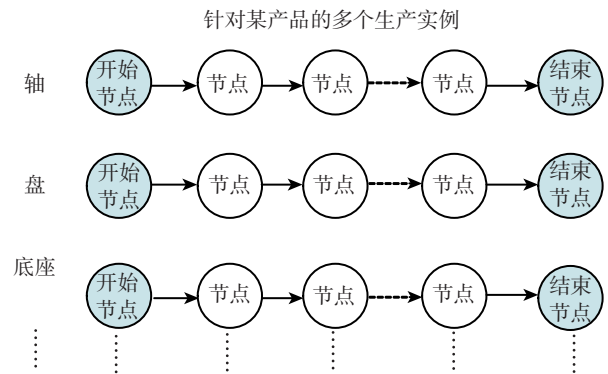


图5 基于节点的生产模型示意图

Fig.5 Node-based production model

这种模型类似于以节点为单元的矩阵。因为各个生产流程实际会有分支、合并等复杂情况，所以整个结构要比矩阵复杂。如果综合各种业务因素的话，整个结构是多维的，生产流程实例串起节点，产品类型任务串起生产流程实例，总体生产计划串起各个产品类型任务，而总体生产计划又是ERP的输出，或是输出后经过车间细分生成的计划。所以，总体而言，整个基于节点的生产模型是前后贯通、有机的结构体。

通过工作流对生产实例的实现，确定了各个节点的实现，如果用面向对象的思想分析，可以把流程中的每个节点看成对象，继而需要去分析研究节点的属性和行为。以下我们将讨论如何在MES中实现节点的属性和行为。

2.3 节点的属性及行为

每个节点的属性就是与其生产环节相对应的人员、设备、任务、检验数据等信息。这些属性信息的采集针对不同的企业，不同的实际情况有不同的方法，最简单的就是在各个节点靠人工把这些信息录入MES系统。如果企业的自动化和信息化水平较高的话，可以将MES与其他现场系统进行集成，通过其他系统自动采集这些数据，作为对应节点的属性。属性中比较重要的有：参与者、任务、起止时间、合格数量等，它们可以作为计划调度、过程管理、质量控制等模块的数据基础。

而节点的行为是以节点的属性作为数据基础的。我们可以为每个节点配置业务行为(工作流可以在这方面提供实现支持，如触发事件功能等)^[6]，而这也正是企业生产业务逻辑的重要实现点。对于各种业务逻辑，选择合适的计算机语言(项目中我们使用的是JAVA)加以实现，并通过工作流系统将其绑定到指定的节点上，如图6所示，这样就可以将属性信息作为输入提供给业务行为(输入或者触发由节点容器负责)，而后业务逻辑根据属性信息进行业务处理并在必要的时候触发事件

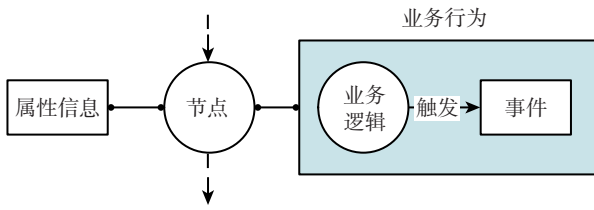


图6 单个节点属性与行为示意图

Fig.6 Diagram of single node attributes and behavior

(其中也包括不需要输入属性信息的业务行为,它们也可以在特定情况下触发事件)。例如,如果检验不合格,节点的检验结果属性值为“不合格”,业务行为在得到属性值后进行业务处理(包括保存检验结果等),并触发“启动工序不合格处理流程”事件。如此,节点的行为就发生了作用。

至此,对于单个节点,就有了面向对象的参考模型。由于用到 workflow,为了避免混淆,在这里对节点与 workflow 活动的区别进行说明。首先,在传统管理系统中,是以 workflow 为核心,进而组织各个活动的业务逻辑,使用的 workflow 多数是第三方产品,所以是以各个行业的流程模型去套用某 workflow 的功能,进而进行开发的。对于 MES 而言^[7],由于它的流程模型复杂、多变,而且实时反馈要求高,要易于调整。所以我们就不能再以 workflow 为核心了,而要以 MES 系统的生产实例为核心和操作对象,需要 workflow 开放更多的接口,以及进行必要的优化,从而达到满足 MES 系统要求的目的。其次,我们提出的基于节点的 MES 构建方法,是以抽象的节点作为理论基础进行方法研究的,workflow 只是我们实现生产实例的一个工具。由于 MES 的特殊性,所以我们需要能适应 MES 的 workflow,以达到灵活承载生产实例的目的。综上所述,它们的指导思想不同,但在实现手段上有部分相似。

2.4 节点集的属性与行为

对于整个制造执行过程,不仅要关注单个节点,也要关注整体,而由单个节点构成的节点集就对此提供了支持。我们可以按照业务对节点进行分类,如机加工、热处理、入库等,在此基础上我们既可以分析处理某类节点的节点集,也可以分析几类节点构成的集合这样的较大节点集,同时这些节点集也可以同时包含不同零部件的节点。通过各种分析算法和工具对节点集的属性数据(一个数据集)进行处理,最终生成能用于反应并影响生产的各种业务数据信息,如生产状态、质量情况、过程信息等。以质量情况作为例子,我

们可以通过分析处理得出各种零部件不同工序的质量合格率,一次校验合格率、同一工序的质量走势等信息,以对决策者提供支持,从而达到实时掌控生产现场的目的。对节点信息描绘越全面,节点属性越丰富,决策者越能从方方面面了解生产现场的情况,就能更全面、准确地做出决策。但过多的属性信息会导致信息采集的负担加大。所以节点拥有的属性要根据不同企业的实际情况进行确定。

与单个节点对应,我们称节点集的属性信息集合为属性信息集,相应的,存在着节点集的行为,即节点集业务行为。如图 7 所示,节点集及其属性信息集和节点集业务行为在于从总体上对车间生产发挥作用。在这里,对节点集业务行为做出解释。生产中,是不可能根据一个节点的属性信息就对 ERP 进行盲目反馈的,许多情况如详细生产计划调整也不是一个节点的信息和行为可以左右的,所以就需要从整体上把一些节点的集合也看成对象,它们也有属性和行为,它们的属性就能从总体上反应生产情况,它们的行为也能在对总体信息进行分析判断后,对生产进行调整和影响,这就是节点集的业务行为。所有节点构成的节点集所对应的节点集业务行为被称之为全局业务行为。以计划调整为例,首先我们得到根据业务划分的节点集的属性信息集,而后将这些属性信息作为输入提供给节点集业务行为的业务逻辑进行处理,在必要时触发计划调整(这取决于属性信息集是否满足业务逻辑的条件;同时也存在着不需要输入属性信息集的业务逻辑,其在必要的时候也会触发事件)。这样,我们就可以实时对生产现场大量节点的

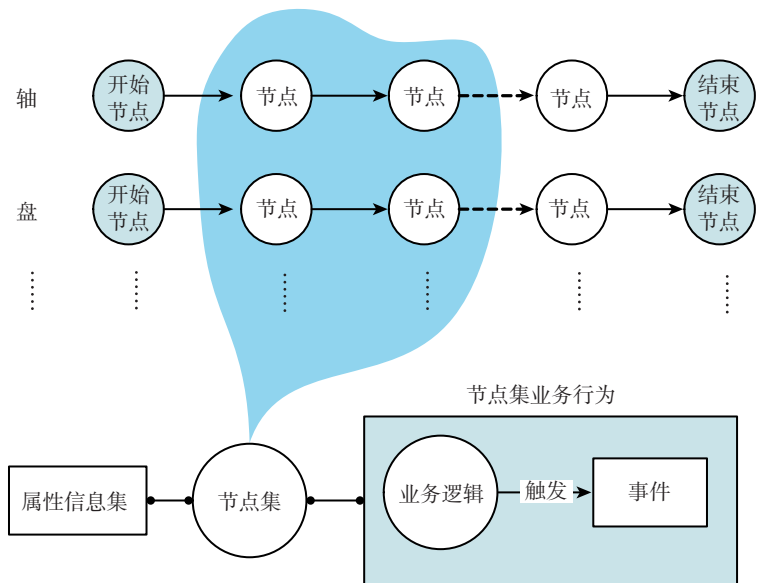


图7 节点集属性与行为示意图

Fig.7 Diagram of node-set attributes and behavior

总体表现有一个精确的把握,从而达到从总体上监控生产过程的目的。

2.5 构建方法综述

无论是单个节点的行为,还是节点集业务行为,他们的操作对象都是生产实例中的节点。例如在整个系统初始化后,包括计划调度、不合格品处理,异常挂起等行为就是以生产实例为对象,通过更改其中某个(些)节点的属性信息(虽然不合格品处理本身就是一个流程,但其不同于生产实例对应的流程,本身不作为模型的核心流程,只作为对应生产实例模型的附属)来实现的。如通过节点集业务行为影响并实现的动态调度正是通过修改生产实例对应节点的起止时间、设备、人员等信息完成的。这样就可以清晰完整地通过生产实例和对生产实例的操作来实现系统。进一步分析,如果将生产实例的节点作为原子,工作流实现的模型作为节点的组织方式,则前文中假设的支持层就得到了实现,进而 MES 各个模块功能的实现也就清晰可见了。

以生产实例为基础,构建方法的具体实现过程如下:

(1) 建立生产实例模型,并初始化系统,启动生产实例并通过工作流驱动;

(2) 在工作流的驱动下,生产实例在各个节点逐步完善自身的属性信息。这些属性数据可作为一些数据处理、分析、显示模块的数据基础,以实现对应模块的数据部分;

(3) 对单个节点或节点集,以属性信息作为输入(或无输入),进行业务逻辑处理,并启动必要的事件。通过业务逻辑和业务事件实现各个功能模块的业务处理部分。

通过基于节点的构建方法,我们不仅能够通过单个节点把握生产过程的细节,也能从总体上通过节点集监控生产的总体情况,同时通过工作流驱动节点间的业务流转。这样就能从局部和整体两方面把握车间的生产情况,这也符合辩证法思想,实现了局部与整体的统一,如此便能科学、全面地掌控车间生产执行情况。

3 应用情况

我们在某研究所 MES 项目中实践了基于节点的 MES 构建方法,有选择性地实现了 MES,总体效果令人满意,如图 8 所示。除去工作流的开发时间,整个系统基本实现了开发快速、基础数据层与业务逻辑层调用清晰、模块之间松耦合、运行高效的目标,同时获得了该研究所的认可。但也暴露出一些问题,如:如果对节点属

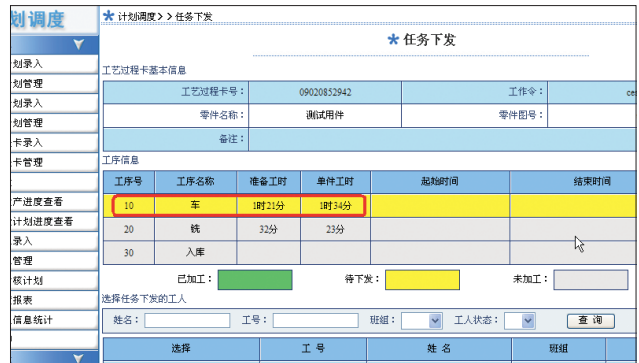


图8 系统应用截图

Fig.8 System application screenshot

性的细化程度把握不到位,就会给生产一线的工人或控制系统及集成工作带来额外的负担,反而影响了整体效率,所以根据不同的企业,不同的实际情况,应有不同的节点属性细化程度。对此我们在考虑使用一个定量和定性相结合的方法来确定节点属性的细化程度,这也将成为我们下一步研究的方向之一。

4 结束语

本课题提出了在 MES 构建中的指导思想,即基于节点的 MES 构建思想。其中谈到了生产模型和以工作流为实现平台的快速构建方法的详细内容,包括节点(节点集)的属性和行为、建模方法的实现过程等。希望大家提供一种新的 MES 实现思路。同时,系统在运行后的效果也比较令人满意,虽然暴露出了一些问题,但随着不断完善,一定会不断发现问题,解决问题,如此便可在 MES 研究的道路上走的更远。

参考文献

- [1] Workflow Management Coalition. The workflow reference model [EB/OL]. 2006[2008-11-18].<http://www.wfmc.org/standards/docs/tc003v11>.
- [2] MESA International. MES white paper [EB/OL].2004[2008-11-8].www.mesa.org/publications/whitepaper1-61.pdf.
- [3] 张士杰,王成恩,张福顺,等.基于组件的可重构制造执行系统.计算机集成制造系统,2004,10(4):422-427.
- [4] MESA International. The Benefits of MES: A Report from the Field. MESA International White Paper Number 1, 1997.
- [5] MESA International. MES Explained: A High Level Vision. MESA International White Paper Number 6, 1997.
- [6] Wfmc. Workflow management coalition specification: terminology & glossary. Document Number Wfmc-TC-1011, Brussels, 1996.
- [7] 刘晓冰,蒙秋男,黄学文,等.基于软件构件的柔性制造执行系统平台的研究.计算机集成制造系统,2003,9(2):101-106.

(责编 小城)