

文章编号: 2096-1618(2021)01-0045-06

云制造环境下制造云服务自适应技术框架

赵秋云^{1,2}, 魏 乐^{1,2}, 舒红平²

(1. 成都信息工程大学软件工程学院, 四川 成都 610225; 2. 软件自动生成与智能服务四川省重点实验室, 四川 成都 610225)

摘要:制造云服务自适应通过“感知-决策-执行”过程,对出现的各种异常进行处理,是保证制造任务顺利执行的一项重要技术。结合云制造的特点,探讨制造云服务自适应的内涵,包括定义、特点和内容。提出由数据源层、数据感知层、数据分析决策层和动作执行层组成的制造云服务自适应技术框架。特别是提出一个事件驱动的制造云服务自适应模型,明确自适应流程,对云制造环境下的制造云服务自适应调整具有重要的借鉴意义。

关 键 词:云制造;制造云服务;自适应;事件驱动

中图分类号:TP391

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2021.01.008

0 引言

云制造是一种利用网络和云制造服务平台,按用户需求组织网上制造资源,为用户提供各类按需制造服务的网络化制造新模式^[1]。在云制造模式中,服务提供者可以将各类制造资源进行虚拟化和服务化^[2],组成制造云,供服务使用者通过云制造平台调用。云制造是在制造网格(application service provider, ASP)和网络化制造等制造模式的基础上,与云计算、物联网、服务计算、人工智能等新一代信息通信技术相结合而产生。相比于其他制造模式,云制造具有物联化、虚拟化、服务化、协同化和智能化^[3]的特征。

云制造模式中,服务使用者发送制造任务到云制造平台中;平台对制造需求进行解析,将制造需求抽象为组合云服务^[4];然后从制造云中选择功能、性能、价格、时间和质量均满足要求的制造云服务,从而完成制造任务。理论上,任何行业、任何企业与制造业全生命周期相关的业务活动需求均可在云制造模式下得到满足。云制造模式具有参与用户多、业务场景复杂和线下线上相结合的特点,这就导致云制造环境下,可能出现诸如制造任务变更、云服务故障、任务超期等不可预料的事件,影响制造活动的顺利进行。因此需要将自适应技术引入云制造中,保证在异常发生的时候,云制造平台可以自适应地做出调整,使制造任务能够继续执行。

当前,已经在制造云服务自适应技术方面进行了研究,取得了一些成果。马文龙等^[5]针对制造云服务组合异常问题,提出一种自适应调整方法,通过异常处理评

测机制和异常自适应调整算法,实现异常情况下组合云服务的自适应调整;杨小桃等^[6]构建了一种制造云服务组合的自适应异常处理框架,通过自动产生与需求相匹配的异常恢复策略解决组合云服务异常;高波^[7]建立了云制造服务组合自适应调整框架,在该框架的基础上,提出一种基于改进蚁群算法的自适应调整算法;周佳军^[8]针对云制造环境下的服务加入、退出及服务质量随时间演化的问题,提出一种面向动态制造云服务组合(manufacturing cloud service composition, MCSC)优选问题的多种群自适应差分蜂群算法;刘波等^[9]基于信息物理融合系统(cyber physical systems, CPS)使能技术,建立了具有自适应能力的制造资源动态服务组合滚动优化框架;章振杰等^[10]针对制造服务组合的动态适应能力问题,构建了制造任务-制造服务动态匹配网络理论模型,并基于该模型,提出了一种三阶段的制造服务组合自适应方法;任磊等^[11]构建了制造组合服务自适应调整系统架构,并设计了2种自适应决策机制;Yi Que等^[12]提出一种改进的自适应免疫遗传算法,用来解决基于QoS感知的服务组合问题;Bin Xu等^[13]等提出一种自适应蝙蝠算法,以便选择合适的云服务进行组合,从而完成制造任务。

在动态、开放、复杂的云制造环境下,各种异常事件的产生不可避免,如何感知这些异常并及时主动作出响应,是云制造必须要解决的问题。目前对云制造自适应技术的研究主要集中在组合云服务的自适应调整上,通过对异常的处理实现自适应调整。实际上,云制造环境下的制造云服务自适应技术涵盖范围远不止这一点,它需要在模型、框架、体系和算法等多个方面统一考虑。在前期研究的基础上^[14-17],以制造云服务

收稿日期:2020-08-10

基金项目:四川省应用基础研究资助项目(2018JY0506);四川省教育厅青年基金重点资助项目(16ZA0208)

自适应技术为研究对象,围绕环境信息感知、自适应决策动作执行和自适应效果评价等方面,明确制造云服务自适应的内涵,分析制造云服务自适应技术框架,并给出一个事件驱动的制造云服务自适应模型。

1 制造云服务自适应的内涵

自适应技术目前已经在机械设备制造、机器人、电子设备、控制技术、信号处理和软件工程等领域得到广泛应用。不同的领域,自适应的内涵不同。软件工程领域,软件自适应是指为了保证持续、高质量地提供服务,软件在运行时检测环境变化和自身状态,据此对自身行为进行主动调整的活动^[18]。云制造具有线上线下相结合的特点,因此制造云服务自适应与软件自适应并不完全相同。

制造云服务现实中的制造设备、计算设备、物料、人员、软件、知识等制造资源和制造能力在云制造平台上的映射,用户通过选择若干个云服务进行组合,满足自身的需求。云制造环境会面临云制造平台环境变化、任务需求变化、云服务状态变化、制造环境变化等事件,这些事件可能会影响制造活动的开展,此时就需要执行调整动作,以保证制造活动的顺利进行。制造云服务在调整过程中可能会涉及物理实体的调整,如制造设备的维护维修、物料和在制品的远距离移动、物理制造场所环境调整等。由此,给出制造云服务自适应的定义如下。

定义1 制造云服务自适应。制造云服务自适应是指为了保证制造任务的顺利执行,根据感知的环境和自身状态的信息,在逻辑上和物理上主动执行的调整活动。

与其他领域的自适应相比,制造云服务自适应具有如下特点:

(1)面向制造任务。云制造环境下,一切动作都是为了保证制造任务的顺利执行。异常发生就意味着制造任务可能无法继续进行,此时需要进行自适应调整才能满足服务使用者的需求。

(2)数据驱动。制造云服务自适应调整的前提是感知环境或自身信息的变化,这些信息经过分析、确认会导致制造任务无法执行后,自适应处理逻辑会执行自适应动作。

(3)与业务流程密切相关。不同企业、不同产品的制造方式、产品结构、技术参数、工艺流程各不相同,在制造云服务自适应调整时必须保证调整结果依然与企业的业务流程相一致。

(4)动作复杂性。由于一些制造云服务对应着现

实中物理位置分布的制造资源,如物料、数控机床、加工中心等,这些资源是真正完成产品制造的物理实体。在进行自适应调整时不能仅考虑功能、性能、时间和质量是否满足要求,还需要考虑价格、物理位置等因素。此外不同类型的制造云服务、不同的异常事件,其自适应策略也均不相同。

自适应一般可划分为“感知-决策-执行”3个阶段,结合云制造环境的实际情况,制造云服务自适应研究内容如图1所示。

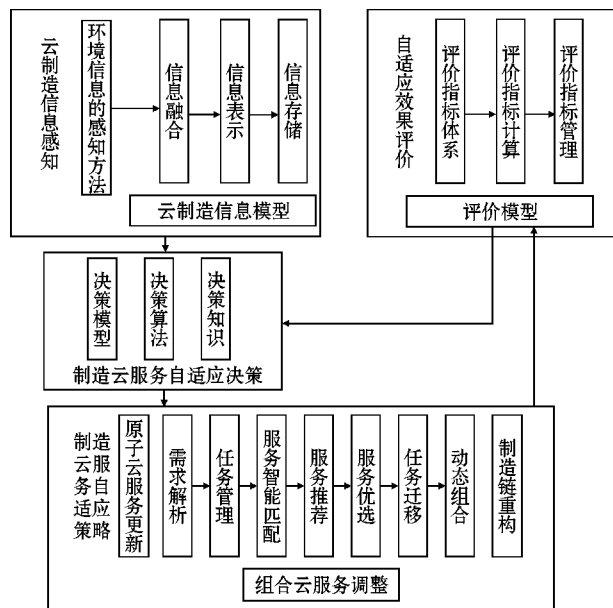


图1 制造云服务自适应研究内容

云制造信息感知。确定云制造信息所包含的内容,明确感知对象;针对不同的感知对象,确定不同的感知手段和感知方法;建立多源信息模型,对感知的信息进行初步处理,实现感知信息的统一表达、融合和存储。

制造云服务自适应决策。即依据所感知的信息作出行为调整决策。在感知信息的驱动下,依据决策知识,采用某种决策模型,如基于策略的决策、基于强化学习的决策等,通过决策算法实现制造云服务自适应决策,产生自适应调整动作。

制造云服务自适应。即实施自适应调整动作。制造云服务的自适应体现在两个层面上,一是云制造信息的变化导致制造云服务自身提供服务的能力发生改变,此时需要修改云服务自身的描述信息,以真实客观能力的变化;二是云制造信息的变化导致用户的制造需求无法得到满足,此时需要重新选择合适的制造云服务,以使用户的任务可以继续执行。因此对制造云服务自适应动作的研究主要集中在制造云服务的智能匹配、制造云服务的优选和原子云服务动态更新等方面。其中制造云服务的智能匹配包含用户制造需求的

表达以及将需求解析、转换为任务的方法,在此基础上实现任务与制造云服务的智能匹配机制,包括功能匹配、性能匹配、价格匹配、时间匹配服务质量(quality of service, QoS)匹配等;制造云服务的优选主要包含海量云服务、多因素约束条件下的制造云服务优选问题,以及任务在制造云服务上的迁移方法、执行链重构和动态组合机制;原子云服务动态更新主要包含分布式环境下的制造云服务信息修改方法以及信息一致性保障策略。

自适应效果评价。建立制造云服务的自适应评价模型,确定评价指标的计算方法,形成可量化的制造云服务评价体系和管理方法。

2 制造云服务自适应技术体系架构

根据对制造云服务自适应内涵的探讨可知,通过各种传感器射频识别(radio frequency identification, RFID)、Agent等手段或方法实现云制造信息的感知是实现自适应调整的前提和驱动力;通过大数据分析和人工智能技术对云制造信息进行分析、决策、生成并执行自适应调整动作是实现自适应调整的关键,其本质是保证制造任务的顺利执行;通过 QoS 质量管理和可信计算理论,对自适应效果评价,是沉淀制造云服务自适应知识的重要环节。根据“感知-决策-执行”的自适应过程,结合制造云服务自适应的研究内容,制造云服务自适应技术架构体系主要包含数据源层、数据感知层、数据分析决策层和动作执行层,如图 2 所示。

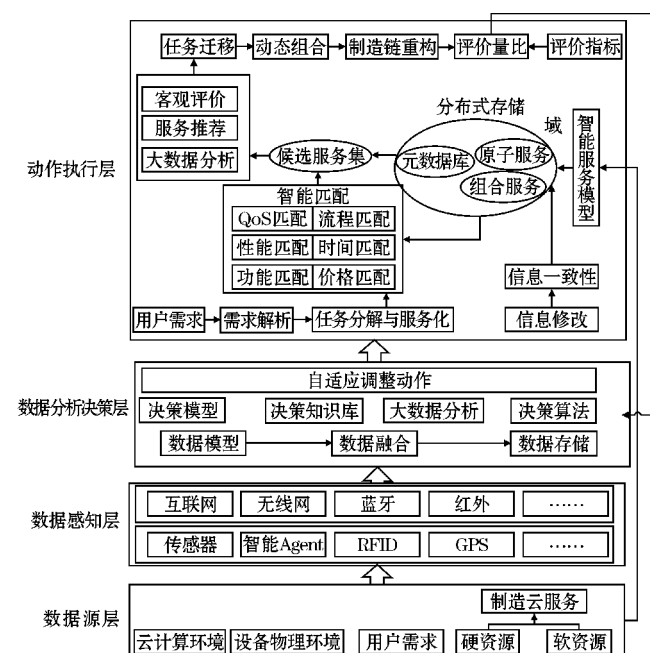


图 2 制造云服务自适应技术框架

2.1 数据源层

数据源层是各类云制造信息的来源,既包含云制造平台运行的云计算环境信息、制造设备工作的物理环境信息、用户需求信息,也包各类制造资源(硬资源和软资源)对应的制造云服务状态信息。这些信息与制造任务的执行密切相关,是自适应的基础。

2.2 数据感知层

数据感知层主要针对各类感知设备和信息传送网络。云制造信息的来源广、类型多,因此需要采用传感器、智能 Agent、全球定位系统(global positioning system, GPS)、RFID、人机交互接口等各种感知技术,主动采集数据源对象产生的各种数据,并通过互联网、无线网、蓝牙、红外等通信技术进行数据传输。因此数据感知的关键技术包括感知技术和通信技术,在具体实践中需要明确不同数据源对象数据的感知手段(如云制造平台环境信息感知可采用软件 Agent、用户需求信息感知可采用人机交互接口、制造环境信息感知可采用传感器等)、感知方法(主动感知还是被动感知)、感知频率等。由于传感器的持续工作,会源源不断产生海量数据,而这些数据很多又是毫无意义的信息,如果全部上传,会对存储和通信带来难以想象的压力,因此需要采用边缘计算技术,对相关数据进行本地化处理。

2.3 数据分析决策层

数据分析决策层首先在获取感知信息后,将多源、异构、分布的数据按照数据模型,进行数据融合,并将融合后的数据存储在信息库中;接着利用决策知识库中的相关知识,实现自适应决策。

云制造信息包括数值、文本、图像等各种形式及温度、湿度、压力、速度、电压等不同量纲的异构数据,这些数据不能直接用于决策,需要针对其特点,通过元数据模型实现数据的集成,并用统一的形式(如事件、异常)表达。云制造数据包含结构化数据、非结构化数据和半结构化数据,这些数据可采用不同的数据库(如 HDFS、HBase、mongoDB、MySQL 等)存储在云计算环境中。

在决策时,可以采用基于事件驱动的决策机制、基于情景感知的决策机制和基于主体-情景-行动的决策机制等。如果依据预先指定的策略实现自适应决策,这时还需要决策知识库的支持。人工智能为自适应决策提供新方式,如采用 Agent 技术、基于用例的推理、强化学习等方式进行决策,可以减少人工干预。由于数据量比较大,需要采用大数据分析技术共同参与

决策,如产品质量分析、设备预测性维护等。

2.4 动作执行层

动作执行层主要是在线上和线下执行调整动作,并对效果进行评估。制造云服务自适应动作主要包含原子云服务的更新、制造云服务匹配、制造云服务优选和自适应效果评价等,具体如下。

2.4.1 原子云服务的更新

云制造环境下,制造云服务的信息会随着时间发生变化,需要对其进行更新,涉及功能、性能、时间、价格、QoS 等多个方面。为提高云服务的智能性,为后续的智能匹配打下基础,可以采用本体技术,建立智能云服务模型,实现云服务的描述;利用分布式存储技术实现海量云服务的存储;利用元数据库存储云服务描述信息,通过数据库操作修改相关信息,并采用主副本的更新策略保证信息的一致性。

2.4.2 制造云服务的智能匹配

采用基于模板的用户需求描述方法和基于语义的需求解析方法,将用户需求按照业务流程分解为制造过程和子任务,并采用服务化的方法封装,满足用户需求转换为服务之间的匹配。采用改进的粒子群算法、遗传算法等人工智能算法实现任务与软件、物流、设备、计算资源等各类云服务的智能匹配,在匹配时主要考虑功能匹配、性能匹配、价格匹配、时间匹配和 QoS 匹配。

2.4.3 制造云服务的优选

采用基于域划分的制造云服务管理机制和分布式检索技术,实现服务信息的快速获取。把自动推荐和客观评价相结合,综合考虑成本、价格、服务质量等约束条件,并采用历史大数据分析的方法,实现制造云服务的优选。结合实时信息感知、历史数据分析和计划安排情况,完成任务的自动迁移和服务的动态组合及云制造虚拟车间任务执行链的重构。

2.4.4 制造云服务自适应效果评价

结合 QoS 质量管理和可信评价理论,建立制造云服务的评价指标体系,并确定各个评价指标的量化计算方法,建立制造云服务的自适应评价模型。同时引入知识库,实现知识的存储和基于知识的自适应调整。

3 事件驱动的制造云服务自适应模型

基于事件驱动的决策机制是当前广泛采用的一种决策模型,该模型利用实时感知的信息,判断是否发生事件,根据现有的知识,触发响应活动。相关定义如下。

定义 2 事件。事件可以形式化为一个五元组 $E\text{-}vent = (EID, EType, ESource, EReason, ETime)$, EID 是事件的唯一标识; EType 表示事件类型; ESource 表示事件来源,用来实现事件的定位并携带相关信息, $ESource = (ESourceID, ESourceData)$; EReason 表示事件产生的原因,如产品结构变化、生产数量变化、计算资源不足、电压过低等; ETime 表示事件发生的时间。

综合考虑可能会引起制造任务执行的因素,将事件划分为环境类、制造任务类和云服务类 3 种,具体如表 1 所示。

表 1 引发制造云服务自适应动作的各类事件

事件类型	事件原因
环境类	存储资源不足
	计算资源不足
	网络带宽资源不足
	制造设备物理场所温度异常
	制造设备物理场所湿度异常
	制造设备物理场所电压异常
制造任务类	制造设备物理场所电能质量不合格
	产品结构及技术参数变化
	产品加工数量增加
	产品加工数量减少
	交货日期提前
	任务取消
云服务类	制造设备云服务更新
	云服务退出
	制造人员云服务更新
	检测质量异常
	检测云服务更新
	维护维修云服务更新
	物流云服务更新

知识库中的规则由事件触发,当条件满足时执行相关的动作,即可完成自适应调整。规则的形式定义如下:

定义 3 规则。规则 $R = (RID, RName, Event, Condition, Action)$, 其中 RID 是规则标识; RName 是规则名; Event 是触发规则的事件; Condition 是执行动作的条件; Action 是执行动作的顺序集。

定义 4 事件驱动的制造云服务自适应模型。事件驱动的制造云服务自适应模型 CMAM 可以表示成一个五元组, $CMAM = (SU, DPU, DU, EU, KL)$, 其中

- (1) SU 表示感知部件,其主要功能是利用传感器、GPS、RFID 等技术,实现云制造环境信息和云服务状态信息的主动感知和数据实时获取^[19]。
- (2) DPU 表示数据处理部件,其主要功能是对感

知的信息进行预处理和存储,通过数据分析、数据融合,生成事件,并将影响制造任务执行的关键事件存放在事件库中。

(3)DU表示决策部件,主要功能是将事件与知识库中的规则进行匹配,根据知识进行决策,生成动作序列。

(4)EU表示执行部件,主要功能是执行决策部件生成的动作,完成自适应调整;同时对自适应效果进行评价,将评价结果好的决策,存入知识库,作为以后决策的依据。

(5)KL表示知识库,主要功能是提供决策所用的知识,知识库中的知识随着云制造平台的运行会不断丰富。

事件驱动的制造云服务自适应模型各部件工作流程如图3所示。感知部件将感知的各类信息送入信息库;数据处理部件将感知信息处理后,生成事件,送往决策部件;决策部件根据事件和相关知识,生成自适应调整动作;执行部件完成动作的执行,并评估调整之后制造任务的执行,将相关知识存入知识库。

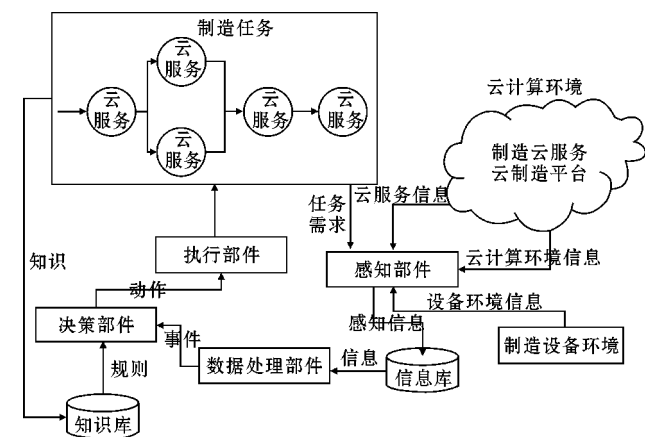


图3 事件驱动的制造云服务自适应流程

4 结束语

复杂、动态、开放的云制造环境会因各种异常的出现,对制造任务的执行造成不利的影响,因此及时感知异常事件,并进行正确决策,完成自适应调整具有重要意义。以制造云服务自适应为研究对象,明确制造云服务自适应的定义、特点和研究内容;围绕研究内容,给出了制造云服务自适应技术架构,阐述了相关的技术内容;最后提出一个事件驱动的制造云服务自适应模型,明确了事件的分类,介绍了相关定义和自适应流程。所提的制造云服务自适应技术体系,对云制造实践具有重要的参考价值。下一步将以自适应决策为重点,开展自适应决策模型、自适应决策算法的相关研究。

参考文献:

- [1] 李伯虎,张霖,王时龙,等. 云制造——面向服务的网络化制造新模式[J]. 计算机集成制造系统,2010,16(1):1-7.
- [2] 李伯虎,张霖,任磊,等. 再论云制造[J]. 计算机集成制造系统,2011,17(3):449-457.
- [3] 李伯虎,张霖,任磊,等. 云制造典型特征、关键技术与应用[J]. 计算机集成制造系统,2012,18(7):1345-1356.
- [4] 陶飞,张霖,郭华,等. 云制造特征及云服务组合关键问题研究[J]. 计算机集成制造系统,2011,17(3):477-486.
- [5] 马文龙,赵燕伟,王万良. 制造云服务组合异常自适应调整方法[J]. 中国机械工程,2016,27(6):778-784.
- [6] 杨小桃,徐宣国,刘开. 制造云服务组合的自适应异常处理框架[J]. 机械与电子,2016,34(11):3-6.
- [7] 高波. 面向机加工的云制造服务组合自适应调整研究[D]. 重庆:重庆大学,2018.
- [8] 周佳军. 面向智慧云制造资源服务组合的若干进化算法研究[D]. 广州:华南理工大学,2018.
- [9] 刘波,刘卫宁,孙棣华,等. 自适应制造资源动态服务组合与优化框架[J]. 中国机械工程,2012,23(10):1187-1193.
- [10] 章振杰,张元鸣,徐雪松,等. 基于动态匹配网络的制造服务组合自适应方法[J]. 软件学报,2018,29(11):3355-3373.
- [11] 任磊,任明仓. 基于情景感知的制造组合服务自适应决策机制[J]. 控制与决策,2019,34(6):1277-1285.
- [12] Yi Que, Wei Zhong, Hailin Chen, et al. Improved adaptive immune genetic algorithm for optimal QoS-aware service composition selection in cloud manufacturing[J]. Int J Adv Manuf Technol, 2018,96:4455-4465.
- [13] Bin Xu, Jin Qi, Xiaoxuan Hu, Kwong-Sak Leung, et al. Self-adaptive bat algorithm for large scale cloud manufacturing service composition[J]. Peer-to-Peer Netw. Appl, 2018,11:1115-1128.
- [14] 赵秋云,魏乐,舒红平. 基于质量评价及需求匹配的制造设备云服务选择[J]. 计算机应用研究,2015,32(11):3387-3390.

[15] 赵秋云,魏乐,舒红平. 云制造环境下制造设备云服务异常处理模型[J]. 图学学报,2014,35(6):840-846.

[16] 赵秋云,魏乐,舒红平. 基于业务流程的制造云服务组合模型[J]. 计算机应用,2014,34(11):3100-3103.

[17] 魏乐,赵秋云,舒红平. 云制造环境下基于 QoS 的组合云服务自适应调整[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2012,48(4):98-104.

[18] 丁博,王怀民,史殿习. 构造具备自适应能力的软件[J]. 软件学报,2013,24(9):1981-2000.

[19] 吕佑龙,张洁. 基于大数据的智慧工厂技术框架[J]. 计算机集成制造系统,2016,22(11):2691-2697.

Adaptive Technology Framework of Manufacturing Cloud
Service in Cloud Manufacturing Environment

ZHAO Qiuyun^{1,2}, WEI Le^{1,2}, SHU Hongping²

(1. College of Software Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Automatic Software Generation and Intelligence Service Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610225, China)

Abstract: Manufacturing cloud service adaptively processes various exceptions through the process of “perception-decision-execution”. It is an important technology to ensure the execution of manufacturing tasks smoothly. Combined with the characteristics of cloud manufacturing, the connotation of cloud manufacturing service adaptiveness was discussed, including the definitions, characteristics and contents. A manufacturing cloud service adaptive technology framework was proposed. The framework consists of the data source layer, data awareness layer, data analysis decision layer and the execution layer. In particular, a service adaptive model of event-driven manufacturing cloud was built to clarify the adaptive process. The model has important significance for the adaptive adjustment of manufacturing cloud services in cloud manufacturing environment.

Keywords: cloud manufacturing; manufacturing cloud service; adaptive; event-driven