

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.12.004

基于子链的云制造资源计划与协调机制研究^{*}

易 玲 玲, 屠 建 飞^{*}, 梁 晓 星

(宁波大学 机械工程与力学学院, 浙江 宁波 315211)

摘要:针对目前制造行业资源或能力过剩与不足并存的问题, 为方便企业对制造资源的整合和对可用资源进行合理有效的计划与管理, 对云制造、云子链的概念及结构模型、云子链的评价与构造过程、云子链产能计算方法进行了研究, 提出了从子链角度对云制造服务平台上的制造资源或服务能力进行计划的方法; 并从子链多向协作角度, 对子链之间的计划协商、进度反馈、冲突化解的机制进行了研究, 提出了各层次子链落实与协调云制造资源计划的方法。研究表明, 云子链的应用能够实现更精确合理地核算和计划制造资源, 各层次子链之间的协调机制为后续计划的实施提供了理论方向性指导, 对云子链整体制造资源进行计划和协调具有可行性和先进性。

关键词:云子链; 云制造资源计划; 计划协调机制; 制造资源管理

中图分类号: TH166; TP311

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2016)12-1442-06

Cloud manufacturing resource planning and its coordination mechanism based on supply sub-chain

YI Ling-ling, TU Jian-fei, LIANG Xiao-xing

(Faculty of Mechanical Engineering & Mechanics, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: Aiming at the problem that manufacturing resources or capacities are excess in some enterprises but insufficient in others, and to facilitate enterprises integrating manufacturing resources as well as planning and managing the available resources rationally, cloud manufacturing and the concept and structure model of cloud sub-chain and its evaluation method and construction process as well as the cloud sub-chain's capacity calculation method were investigated, further the cloud manufacturing resource planning method based on sub-chain was proposed. The mechanisms of project consulting, progress feedback, conflict resolving among different sub-chains were researched from the point of multi-directional cooperation. The methods of implementation and coordination of cloud manufacturing resource planning were presented. The results indicate that the applications of cloud sub-chain can account and plan the manufacturing resources more accurately and rationally, the coordination mechanisms among various levels cloud sub-chain provide theoretical and directional guidance for the implementation of the follow-up plans. It's feasible and advanced to plan and coordinate the overall cloud sub-chain manufacturing resources.

Key words: Cloud sub-chain; Cloud manufacturing resource planning; Plan's coordination mechanism; Manufacturing resource management

0 引 言

云制造可以实现制造资源的共享, 按用户需求组织网上制造资源^[1], 它是由我国著名制造业信息化专家李伯虎院士于 2009 年提出来的。但是在云制造模

式中, 如果仅仅考虑直接供应商的制造资源, 忽略云制造资源的多层次、多主体、网链型等属性, 一旦生产过程出现问题, 与之相关的制造资源也会受到较大波动。因此, 为了更精确和更合理地核算制造资源, 以便制定更加精确有效的云制造资源计划, 必须考虑供应商所在供应链制造资源的状态, 即需从子链的角度来考虑

收稿日期: 2016-04-13

基金项目: 国家科技部星火计划资助项目(2014GA701032); 浙江省自然科学基金资助项目(Y14G010002)

作者简介: 易玲玲(1989-), 女, 湖北随州人, 硕士研究生, 主要从事工业工程、制造资源计划、企业信息化管理方面的研究。E-mail: 1476350421@qq.com

通信联系人: 屠建飞, 男, 副教授, 硕士生导师。E-mail: tujianfei@nbu.edu.cn

整个供应链的制造资源。将子链应用到云制造中,子链整体的制造资源成为云子链制造资源,相比单个企业的云制造资源,云子链具有覆盖面广、更能全面反映零部件制造和原材料供应的实际能力,有利于在生产计划中更全面地考虑制造资源波动的影响。在子链计划执行过程中,难免会出现不顺畅的环节,还需对整体供应链和供应子链的计划进行协调控制。

虽然,有关制造资源计划、云制造的研究由来已久,国内外学者也分别从理论与实践等多个方面对制造资源计划系统及其应用进行研究^[2-6],有关云制造的研究目前主要集中在云制造的体系结构、资源定义与发现、系统实现等方面^[7-9];对于供应子链的研究,目前尚不多见,屠建飞^[10]首先提出了供应子链的概念及其评价模型,近年来,其又从子链的角度对供应链进行更加深入的研究,提出了基于供应子链的生产计划和产能计算方法^[11]。无论是制造资源计划还是云制造,核心技术研究已比较成熟,但是,上述研究还基本限于单点企业的制造资源。事实上,在合作制造环境中,云端的制造资源并非简单孤立的存在,而是与多种其他制造资源相关,受企业间供应链关系的影响显著,这方面的研究尚未涉及。另一方面,对云制造资源进行计划和协调,以便更高效、更经济地管理和使用这些资源,也是云制造资源必须研究和解决的问题,这方面的研究同样非常缺乏。因此,从供应子链角度对云制造资源进行计划协调,是针对上述研究的一个新的视角,具有十分突出的必要性。

本研究对云制造、云子链的概念及结构模型、云子链的评价与构造过程、云子链产能计算方法进行研究。

1 基于子链的云制造资源计划方法

云制造资源计划用于解决制造企业对云制造资源的计划与管理,其含义是指制造资源的使用方(一般为制造企业)依据生产制造的需要,从云制造服务平台中获取所需的制造资源,制定以云制造服务平台为依托的生产制造计划,并付诸实施的过程。云制造中每一制造资源的提供方事实上不是单独的一家企业,而是一条与之有业务联系的企业供应子链,由此,云制造服务平台中的制造资源相应地转变成为云子链制造资源。云子链是云制造资源计划与核算的基础对象,是制定和调整云制造生产计划的依据。

云子链制造资源计划和企业常用的制造资源计划的主要区别在于计划的对象,管理的途径、方式等不同。云子链制造资源计划的对象主要是云子链,即云制造服务平台上虚拟化后的制造资源或服务的能

力,包括物料资源、人力资源、设备资源、技术资源、信息资源等。管理的途径主要是通过云制造资源计划系统进行“线上”沟通,计划的整个过程都可通过系统来监控,因而大大节省了企业管理者的时间和精力。

1.1 云子链结构模型

跟普通的供应链管理相比,云子链的管理要简单许多,不必考虑每家供应商的方方面面,每条供应子链都可作为独立的整体来管理。

生产某种产品时,由众多云节点制造资源构成的完整供应链网络如图 1 所示,其中包含了若干条云子链。

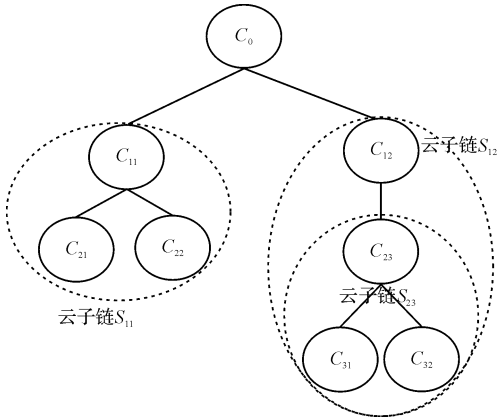


图 1 云子链结构模型

C_0 —最终品制造企业; C_{11}, C_{12} — C_0 的供应商; C_{21}, C_{22} — C_{11} 的供应商; C_{23} — C_{12} 的供应商; C_{31}, C_{32} — C_{23} 的供应商

假设该供应链表示形式如下: $\{C_0\{C_{11}\{C_{21}, C_{22}\}, C_{12}\{C_{23}\{C_{31}, C_{32}\}\}\}$ 。则,由部分节点构成的局部供应链 $\{C_{11}\{C_{21}, C_{22}\}\}$ 是 C_0 的子链,简记为 S_{11} ; $\{C_{12}\{C_{23}\{C_{31}, C_{32}\}\}\}$ 是 C_0 的另一条子链,简记为 S_{12} ; $C_{23}\{C_{31}, C_{32}\}$ 是 C_{12} 的一条子链,简记为 S_{23} 。

1.2 云子链的评价与构造

制造企业在接到订单以后,首先要做的是根据产品结构来选择供应商,也就是构造云子链。在云制造资源平台上,若同时有多条云子链可供选择时,研究者应先对每条子链进行评价,使经评价考察后从多个可供选择的云子链中选择的子链是最优对象。云子链的评价优选方法和供应子链的评价方法类似,具体评价方法参见文献^[10]。

在构造云子链时,应尽量避免云子链的层次太多,结构过于复杂,以免增加后续计划协调的难度。云子链的层次以两层至三层为好,通过合理地控制云子链节点的数量,既能避免信息在传输过程中的失真,又能方便云子链的产能核算和后续计划协调,

在选择云子链的时候,应该选择具有完整加工能力的供应商或者子链,尽量避免供应商再寻求其他供应子链的情况。

1.3 云子链制造资源计划

1.3.1 云子链产能计算

制造企业在发现、选择并获取云制造资源服务平台中的云子链制造资源之后,除需考虑相关的评价指标体系之外,云子链制造资源的产能是计划运算和产能核算最重要的依据。

以图 1 中云子链 S_{12} 的产能计算为例,云子链制造资源由云节点制造资源 C_{12} 经中间节点制造资源 C_{23} ,到叶节点制造资源 C_{31} 和 C_{32} 方向形成,即当云制造资源使用方发现并选择该云制造资源后,实际选择的是由这一系列节点构成的子链的制造资源。云子链制造资源的产能计算,则从叶节点制造资源经中间节点制造资源,逐层向云节点制造资源汇聚计算。按照约束理论,上一节点的产能受制于同层节点中产能小的制造资源。

因此,设 C_i^s 为云子链的制造资源产能,则相邻层次节点的产能采用如下公式计算:

$$C_i^s = \min[k_{i0}C_i^0, k_{i1}C_i^1, \dots, k_{im}C_i^m] \quad (1)$$

式中: m —物料类别; k_{im} — $0 \sim m$ 类制造资源产能的配比系数; k_{i0} — C_i^0 与其他制造资源产能的配比系数,为简化, k_{i0} 可以取 1。

配比系数与产品结构有关,如某部件 P1 需要 2 个 P2 零件,设 P1 制造资源产能的配比系数如取 1,则 P2 制造资源产能的配比系数为 1/2。

1.3.2 基于子链的云制造资源计划

生产任务型企业根据接收到的订单或者对未来一段时期的市场预测生成订单数据,制定产品的主生产计划,即确定每一具体的最终产品在规定时间内生产数量,然后依据产品 BOM 分解成装配需求计划和生产需求计划,结合自身企业的实际情况,无法完成的部分需寻找其他的供应商,构造供应子链。物料供应云子链清单是制定计划的基础数据。

生成后的云主生产计划首先需要进行关键云子链产能核算,如果可行的话,再进行所有云子链的产能核算,如果产能核算不通过的话,则需重新调整计划。通过产能核算之后,就可制定节点企业的初步生产计划,初步计划经供应链末端产品最终制造企业审核确认之后,方可敲定最终的生产计划。

基于供应子链的云制造资源计划运算与产能核算的业务流程如图 2 所示。

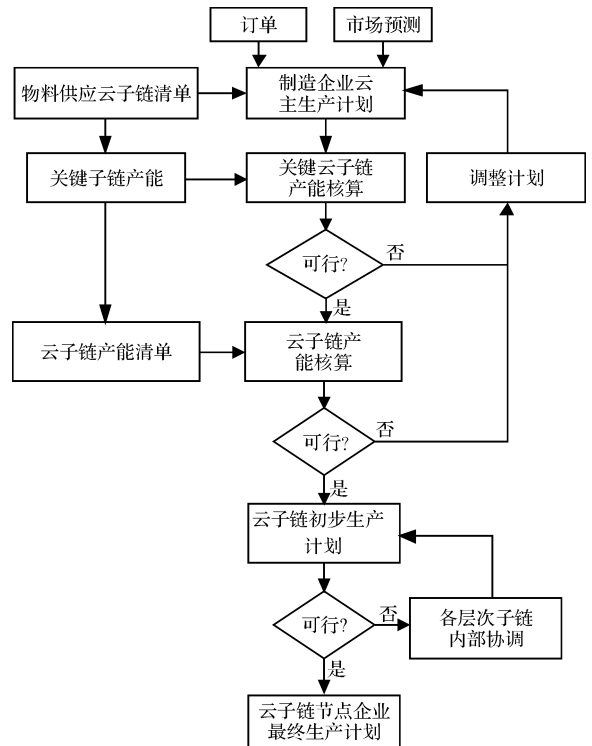


图 2 基于子链的云制造资源计划的业务流程

2 各层次子链生产计划协调机制

尽管供应链的整体效益取决于所有子链的紧密配合,但运行过程中它们的目标或者自身利益可能会发生冲突,从而影响供应链的整体效益。因此,采用合理的机制来协调各层次子链的生产计划运行以使供应链总体运营成本最低、效率最优是供应链计划管理的关键问题。

由图 1 云子链结构模型可以看出,各层次云子链之间具有纵向和横向的信息集成过程,如云子链 S_{11} 和 S_{12} 在横向上属于同一层次,云节点企业 C_{12} 和云子链 S_{23} 在纵向上存在业务联系,因此可从纵向和横向两个方向来研究各层次子链生产计划的协调机制。纵向协调指整条供应链上下层节点企业之间的计划协调,横向协调指的是位于子链同一层次的节点企业之间的计划协调。在企业的管理过程中,只需关注这几个子链的生产运作是否正常即可,大大降低了企业管理的复杂性。

2.1 纵向协调机制

供应子链的多层次、网络化特征决定了其计划的协调应大体上采取分散自制,宏观调控的机制。分散自治是指各层次子链及子链内部节点企业自行制定生产计划,并给予节点企业一定的灵活性和自主性,使其充分发挥自己的优势;宏观调控是指产品最终制造企业掌控所有子链的生产计划,并对子链提出的生产计

划进行优化、调整,当产品的质量、价格、成本、数量、交货期发生冲突时,或者子链之间的生产活动出现无法协调的矛盾时,产品最终制造企业需要进行总体协调。

各层次子链纵向协调模型如图 3 所示。

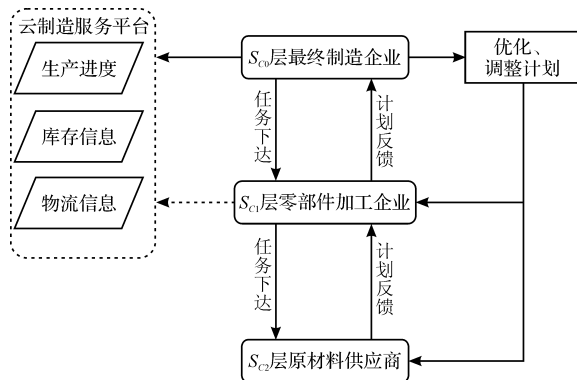


图 3 云子链纵向协调模型

通过订单分解,平衡企业的装配任务需求计划和制造任务需求计划,各层次子链承接订单的能力和意愿都反映到云制造生产计划中。同时,各层次子链的生产进度信息、库存状态信息、物流信息等将会在云制造服务平台上不断更新,以使各层次子链间的生产活动保持同步。

纵向协调机制如下:

(1)将产品的最终制造企业作为核心企业,所有的子链都是其下属企业。最终制造企业有权力对所生产的产品质量、数量、成本、价格、交货期等进行统一部署安排,并指导子链的生产。

(2)分层管理。由于供应子链的结构具有明显的层次性,在管理过程中按照层次来划分组织结构,能够使企业的管理活动更加职责分明,如图 1 所示的子链结构模型中, S_{23} 的生产计划和生产活动可由 C_{12} 直接监管,由 C_0 间接管理。

(3)基于云制造服务平台的沟通机制。位于云制造服务平台上的节点企业可直接通过云制造平台来沟通,将产品最新的生产进度、库存信息、物流信息等直接发布在云制造服务平台上,上层子链可通过输入用户名和密码在云制造服务平台上查看产品相关信息。不在云制造服务平台的子链之间可通过互联网沟通。

(4)利益分配,风险承担机制。各子链为一整体,利益分配和风险承担需以子链的形式来协商共同分担,然后子链内部各节点企业再详细分配。

(5)信息共享机制。各层次子链之间信息可相互传递,并不局限于上下层传递,若生产过程出现问题,所有子链可相互协商讨论,确定最终的解决方案,如同看板管理,可达到快速解决问题的目的。

2.2 横向协调机制

位于同一层次的供应子链,如图 1 所示的 S_{11} 和 S_{12} ,表面上相互之间没有关联,各司其职,其实在制定生产计划时也需要相互协调。只有两条子链配合得当才能保证交货期一致,最大限度地减少产品加工等待时间。同一层次的云子链存在两种横向关系:一种是为上层子链提供同类配套零部件或者原材料;另一种是为上层子链提供不同种类的零部件或者原材料。

2.2.1 提供同类制造资源

为上层子链提供同种零部件或原材料的子链,它们之间可在零部件或原材料供应的数量、质量、交货期及各自的利益等方面进行协调。例如,当一条供应子链的库存无法满足上层子链的需求时,另外的供应子链可作协调补充。但是,有利益合作就会有冲突产生,如子链之间的竞争,主要是产品渠道竞争、价格竞争等。可采取以下几种机制来协调同一层次的供应子链。

(1)公平竞争制。对于可供应零部件或原材料的数量,各供应子链应根据自身企业的实际产能,量力而行;对于产品的质量,合格率应力求提到最高;上层子链必须公平对待各供应子链,忌暗箱操作,各子链紧密协作配合,避免恶性竞争。

(2)契约约束制。对于供应子链提供的零部件或原材料的数量、价格、收益比例、质量要求、惩罚机制等,都可在协议中规定清楚,契约可作为标准来指导和约束各子链的行为。

(3)下层服从上层管理。下层供应子链应以提供服务的对象为核心,服从上层子链的任务分配及其他决策。当然,服从并不意味着顺从,各种计划安排都是以双方协商为前提,最后由上层子链敲定。供应子链之间若产生不可调和的矛盾时,应该服从上层子链的安排。

2.2.2 提供非同类制造资源

提供非同类制造资源的子链之间几乎无交集,需协调配合的地方很少,因此在供应子链的整体协调中,同一层次的子链之间可不作协调,只需各司其职,尽量统一交货期即可,但必须考虑其上、下层的关联。

3 云子链应用实例

为便于理解云子链的概念及云制造资源计划的方法,笔者现以自行车的生产为例进行简要说明。一辆自行车整体是由车架、前叉、轮子、车把、车座组成。

3.1 云子链构造

假设某自行车生产企业接到一个订单,自行车的

产能需求为 100 辆/d,根据自行车的产能需求可在云制造资源池中寻找满足产能需求并且其他各项指标(成本、质量、服务、信誉度、可靠度、企业管理水平)按照相应的权重综合排名靠前的云节点或者云子链制造资源。

云制造资源平台上生产自行车可用的制造资源如图 4 所示。

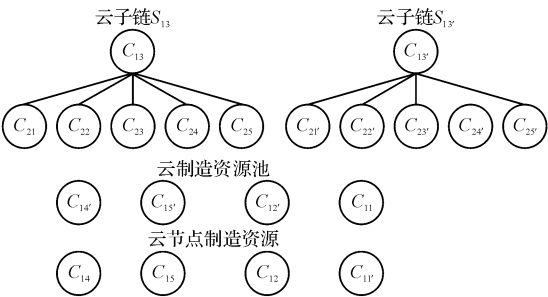


图 4 自行车云制造资源池

在图 4 中, C_{11} 和 $C_{11'}$ 为生产车架的可供选择的两个云节点制造资源, C_{12} 和 $C_{12'}$ 为生产前叉的云制造资源平台上可供选择的两个云节点资源, 同样的, 其他节点均为自行车组件生产可供选择的云节点资源, S_{13} 和 $S_{13'}$ 是由一系列云节点制造资源(钢圈 C_{21} 、内胎 C_{22} 、外胎 C_{23} 、中轴 C_{24} 、辐条 C_{25})构成的生产车轮的云子链。

节点企业产能信息是由企业自身提供, 供应子链产能是由子链产能计算方法得出。由于最终产品的制造产能还要受上层供应商原材料或者零部件供应能力的限制, 运用约束理论可知, 云子链产能会受到产能最低节点的限制。

各云节点和云子链的相关信息如表 1 所示。

表 1 云节点和云子链产能信息

云子链	节点企业	节点产能	云子链产能	综合排名
S_{13}	C_{13}	$210 \times 20 = 4\ 200$	4 100	1
	C_{21}	$205 \times 20 = 4\ 100$		
	C_{22}	$210 \times 20 = 4\ 200$		
	C_{23}	$230 \times 20 = 4\ 600$		
	C_{24}	$250 \times 20 = 5\ 000$		
$S_{13'}$	C_{25}	$210 \times 20 = 4\ 200$	4 000	2
	$C_{13'}$	$250 \times 20 = 5\ 000$		
	$C_{21'}$	$210 \times 20 = 4\ 200$		
	$C_{22'}$	$200 \times 20 = 4\ 000$		
	$C_{23'}$	$201 \times 20 = 4\ 020$		
	$C_{24'}$	$230 \times 20 = 4\ 600$		
	$C_{25'}$	$210 \times 20 = 4\ 200$		

通过表 1 可以看出, 车轮生产资源有两条子链可以选择, 但 $S_{13'}$ 的产能刚好满足企业产能需求, 若生产过程中突发意外状况, 很有可能无法完成任务, 再根据

云子链的各项指标综合排名, S_{13} 比较适合作为该企业的车轮的供应商。同样, 云节点企业的选择方法也是如此。

3.2 云子链生产计划

由自行车供应子链和自行车组件结构得出自行车的物料, 供应云子链清单如图 5 所示。

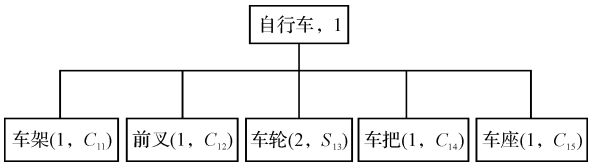


图 5 自行车供应云子链清单

物料供应云子链清单是制定生产计划的基础数据, 首先应制定自行车主生产计划, 由于在前述构造云子链时已经对云子链的产能进行计算, 在判定主生产计划是否可行时, 理论上只需核算最终自行车的产能与自行车的生产任务量。若产能有余, 则生产计划能够完成, 可进一步生成产品初步生产计划, 交由各层次节点企业及云子链协商确认之后, 即可确定为最终生产计划; 若产能不足, 则生产计划无法完成, 需重新调整计划。

4 结束语

市场环境激烈的竞争为企业的生存发展带来严重威胁, 唯有企业合作、资源共享才能使资源得到充分利用, 使资源供需双方共同获利。以供应子链的形式对云制造资源进行计划, 可以使计划的对象更加细致, 便于企业对产品生产情况进行追溯; 各层次子链之间计划的横向和纵向协调机制, 为企业采用云制造资源计划方法提供了理论指导和后续保障, 帮助避免在计划实施过程中出现混乱的局面, 同时, 供应子链的计划方法和协调机制也是对云制造模式很好的补充和利用, 并且也为大型集团化企业或产能不足需寻求外包服务的中小企业的资源整合提供了方便。

本研究的不足之处是多层次云子链产能需靠人力逐层计算汇总且云子链不能快速且自动更新, 这样新的生产计划仍沿用旧的产品物料供应云子链清单, 导致计划的不准确性, 因此, 有待进一步深入研究的问题是如何使云子链产能在系统里能够自动计算和产品的物料供应云子链清单在系统里得到快速更新。

参考文献 (References):

[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-CIMS, 2010, 16

- (1):1-7.
- [2] 郭顺生. 制造资源计划系统的研究[J]. 机械,2001,28(2):1-3.
- [3] LAN C H, LAN T S. A combinatorial manufacturing resource planning model for long-term CNC machining industry[J]. **Int J Adv Manuf Technol**,2005,26(9):1157-1162.
- [4] WAZED M A, AHMED S, NUKMAN Y. Commonality and its measurement in manufacturing resources planning[J]. **Journal of Applied Sciences**,2009,9(1):69-78.
- [5] 陈富民,高建民,林志航. 制造资源计划与作业成本法的集成研究[J]. 中国机械工程,2001,12(S1):74-77.
- [6] 徐 凡,梁 爽. 网络化协同制造环境下企业资源计划及实现方法的研究[J]. 中国高新技术企业,2008,15(1):44-45,48.
- [7] 姚锡凡,练肇通,李永湘,等. 面向云制造服务架构及集成开发环境[J]. 计算机集成制造系统,2012,18(10):2312-2322.
- [8] 任 磊,张 霖,张雅彬,等. 云制造资源虚拟化研究[J]. 计算机集成制造系,2011,17(3):511-518.
- [9] 李伟平,林慧苹,莫 同,等. 云制造中的关键技术分析[J]. 制造业自动化,2011,33(1):7-10.
- [10] 屠建飞,方志梅,叶飞帆. 供应链子链的评价[J]. 机电工程,2003,20(5):172-174.
- [11] 屠建飞,方志梅. 基于供应子链的生产计划与产能核算[J]. 工业工程,2014,17(2):106-110.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

易玲玲,屠建飞,梁晓星. 基于子链的云制造资源计划与协调机制研究[J]. 机电工程,2016,33(12):1442-1447.

YI Ling-ling, TU Jian-fei, LIANG Xiao-xing. Cloud manufacturing resource planning and its coordination mechanism based on supply sub-chain[J]. **Journal of Mechanical & Electrical Engineering**, 2016,33(12):1442-1447.

《机电工程》杂志;<http://www.meem.com.cn>

(上接第 1435 页)

(2)本研究依据仿壁虎机器人的结构特点,规划了一种对称式的地壁过渡步态。给定 12 个变量大小即可得各关节角度、角速度随时间的变化,由此可进行进一步的控制。

(3)本研究通过 Matlab 编程得到了各关节角度、角速度变化曲线,通过 Inventor 运动仿真验证了结果的正确性与可行性。

(4)该步态方法针对直爬、90°交角的过渡面的工况,对其他情况不适用。角度控制仅保证了一次连续,控制时会产生二次不连续而导致的柔性冲击,因此具有一定的局限性。

参考文献(References):

- [1] 肖 立,佟仕忠,丁启敏,等. 爬壁机器人的现状与发展[J]. 自动化博览,2005,22(1):81-84.
- [2] 阮 鹏,俞志伟,张 昊,等. 基于 ADAMS 的仿壁虎机器人步态规划及仿真[J]. 机器人,2010,32(4):499-504.
- [3] 张晓峰. 基于 MATLAB 仿壁虎机器人步态规划研究与运动仿真[D]. 南京:南京航空航天大学机电学院,2010.
- [4] 王田苗,孟 偲,丑武胜,等. 仿壁虎机器人的步态设计与路径规划[J]. 机械工程学报,2010,46(9):32-37.
- [5] 郑浩峻,汪劲松,陈 恩. 步行机相交面运动规划[J]. 清华大学学报:自然科学版,1999,39(2):49-53.
- [6] 张 昊,龙玮洁,俞志伟,等. 一种仿壁虎机器人侧向地壁过渡方式及步态[J]. 中国机械工程,2013,24(5):573-579.
- [7] 阮 鹏. 基于虚拟样机技术的仿壁虎机器人步态规划及运动仿真[D]. 南京:南京航空航天大学机电学院,2010.
- [8] 曹飞祥,孙树栋,段 军,等. 仿壁虎机器人地壁过渡的步态规划[J]. 机床与液压,2013,41(9):39-42.
- [9] MEMG Cai, WANG Tian-miao, GUAN Sheng-guo, et al. Design and Analysis of Gecko-like Robot[J]. **Chinese Journal of Mechanical Engineering**, 2008, 24(2):224-236.
- [10] 王洪光,姜 勇,房立金,等. 双足爬壁机器人壁面凹过渡步态规划研究[J]. 智能系统学报,2007,2(4):40-45.
- [11] 黄 松,胡晓兵,周 飞,等. 关节机器人定位精度影响因素分析[J]. 机械,2014,41(4):70-74.
- [12] 萨德 B 尼库. 机器人学导论[M]. 孙富春,朱纪洪,刘国栋,等,译. 北京:电子工业出版社,2004.

[编辑:李 辉]