

基于生产负荷均衡的多对多订单分配模型

宋法帅, 项 薇, 叶飞帆

(宁波大学 机械工程与力学学院, 浙江 宁波 315211)

(songfashuai@163.com)

摘 要:针对产业集群外的多个制造商和产业集群内的多个供应商的订单分配问题,从合理利用供应商剩余生产能力的角度,将多供应商之间的生产负荷率均衡作为订单分配决策的主要准则,建立了多个制造商对多个供应商的订单分配模型。通过对产业集群内注塑机零部件生产企业实例仿真分别从时间及空间维度验证了模型不仅可以减小供应商的生产负荷波动,而且可以均衡各个供应商在每个周期的生产负荷。基于生产负荷均衡的分配策略在保证制造商下达的订单得以顺利完成的同时,考虑供应商群体制造资源的均衡利用,从而提升整个供应商群体的运作水平和效益,进而实现整个供应链的优化。

关键词:生产负荷均衡;多对多订单;订单分配;仿真

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A

Multi-manufacturers-to-multi-suppliers order allocation model based on production load equilibrium

SONG Fa-shuai, XIANG Wei, YE Fei-fan

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

Abstract: For the order allocation problem of industry cluster with multiple manufacturers and multiple suppliers, considering the suppliers' current available manufacturing resources, an order allocation model for supply chain with multi-suppliers to multi-manufacturers based on production load equilibrium strategy was proposed in this paper. The simulation case study of an industry cluster of injection molding parts manufacturers was used to verify that the model can not only narrow the supplier's production load fluctuation, but also can balance suppliers' production load in each cycle. The production load equilibrium strategy can not only guaranteed the order's lead time, but also the equilibrium utilization of the suppliers' manufacturing resources, leads to promote the whole supplier group's operation level and efficiency and to realize the optimization of the entire supply chain.

Key words: production load equilibrium; multi-manufacturers-to-multi-suppliers order; order allocation; simulation

0 引言

在订单分配研究工作中,绝大多数研究工作^[1-5]都以订单本身的经济技术指标作为评价准则,例如价格、质量、供货及时率等。这些研究主要是从采购方考虑问题,较少地考虑维持与供应商的战略合作伙伴关系。制造商在面向多供应商制定订单分配方案时,不仅要考虑订单本身所包含的诸如价格、质量、交货期等指标,而且还要考虑供应商的生产状况能否确保订单的顺利完成。尤其是在制造商与供应商处于长期稳定合作的情况下,产业集群内供应商的价格、质量趋于相同,在未来的订单完成期内供应商的生产状况对订单的顺利完成往往显得更加重要。由于订单本身的指标难以准确客观反映供应商的实际生产经营状况,因而一些研究试图从订单以外去寻找决策准则,尤其是考虑基于供应商生产状况的评价准则。Korpela 等人^[6]从供应链整体优化角度指出,供应商有限的生产能力应该合理地进行分配。因而订单分配不仅要

从采购方角度研究,更应该从供应商的角度去考虑其生产能力的限制。虽然一些研究者已经意识到,在许多情况下价格往往不是决定订单分配的主要因素,订单分配应该从供应商的生产能力角度去考虑问题,但是以往都是针对一个采购商对多个供应商的研究^[7-11],而现实企业中多个制造商和多个供应商形成了网状的供需关系,为了使模型更符合实际情况,本文根据企业实际运作情况,从多个供应商负荷均衡角度对订单分配模型进行了研究。

1 基于生产负荷均衡准则的订单分配模型

根据企业实际运作的情况,长期稳定合作的企业,订单都是通过电话或者传真下达的,因此本模型不考虑订单的延迟。假设处于长期稳定合作的供应商和制造商之间订单信息完全共享,每个生产周期的任务在本周期初期确定。供应商按订单生产,如果本周期内订单任务完不成,剩余订单作为下个周期订单的一部分继续加工。为清楚表达订单分配模型,首先对模型中涉及的若干参数变量进行如下说明:

i 为供应商个体, $i = 1, 2, \dots, n$ 。

收稿日期:2011-04-15;修回日期:2011-06-13。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(70871062);教育部留学回国人员科研启动基金资助项目(教外司留(2009)1341号)。

作者简介:宋法帅(1982-),男,河南鹤壁人,硕士研究生,主要研究方向:制造系统工程、供应链仿真;项薇(1971-),女,浙江宁波人,副教授,博士,主要研究方向:系统仿真、人工智能;叶飞帆(1957-),男,浙江宁波人,教授,博士生导师,博士,主要研究方向:供应链管理、制造系统工程。

j 为制造商个体, $j = 1, 2, \dots, m$ (j_m 表示第 m 个制造商)。

t 为生产周期, $t = 1, 2, \dots, T$ 。

C_i 为供应商 i 生产某产品的生产能力。

O_{ti} 为供应商 i 第 t 周期从其他企业接到的订单量。

D_{tj} 为第 t 周期制造商 j 的订单量。

P_{ti} 为第 t 周期供应商 i 的应得订单量。

P_{tj} 为第 t 周期制造商 j 向第 i 个供应商下发的订单量。

A_i 为所有与供应商 i 有业务往来的制造商集合。

A_j 为所有与制造商 j 有业务往来的供应商集合。

$S_{t,i}$ 为第 i 个供应商第 t 周期没有完成的订单量。

$$S_{t,i} = \max\left(\sum_{j \in A_i} P_{tj} + O_{ti} + S_{t-1,i} - C_i, 0\right)$$

其中 $S_{0,i} = 0$ 。

本文建立的基于供应商生产负荷率均衡的订单分配模型是从供应商当前可利用制造资源角度保证下发订单的顺利完成。这里的生产负荷率是指企业生产任务与最大生产能力的比值。供应商生产负荷率均衡观点是叶飞帆等人^[9]率先提出的,是指各个供应商的生产负荷率趋于相等,生产负荷率波动范围缩小。本文借鉴该供应商生产负荷率均衡的观点建立了基于供应商生产负荷率均衡的多对多订单分配模型,为清楚描述该模型,我们先定义两个基础概念,分别为第 t 周期供应商的应有生产负荷率及第 t 周期供应商 i 的现有生产负荷率,具体如式(1)~(2)。

第 t 周期供应商的应有生产负荷率:

$$\frac{\sum_{i=1}^n (O_{ti} + S_{t-1,i}) + \sum_{j=1}^m D_{tj}}{\sum_{i=1}^n C_i}$$

其中:分子部分是一个周期内订单量的总和,包括各个供应商从其他企业接收到的订单量、上周期没有完成的订单量以及制造商本周期的订单;分母部分是各个供应商生产能力的总和。应有生产负荷率表示在一个周期内各个供应商理论上应该达到的平均生产负荷率,是这个周期内总的订单量与各个供应商的生产能力总和的比值。

第 t 周期供应商 i 的现有生产负荷率:

$$\frac{O_{ti} + S_{t-1,i}}{C_i} \quad (2)$$

其中:分子部分是供应商 i 在一个周期初期现有的订单量,包括从其他企业接收到的订单量及上周期没有完成的订单量;分母部分是供应商 i 的生产能力。现有生产负荷率表示一个周期初期在制造商分配订单之前各个供应商已经拥有的订单达到的生产负荷率,是本周已有订单量与本企业的生成能力的比值。

在一定时期内制造商每一种采购产品的供应商都是确定的,按照制造商对各个供应商以往服务的评价,可以得到各个供应商的排序优先级,不妨设制造商 j_m 的第1优先级供应商、第2优先级供应商等分别为 $i_{m1}, i_{m2}, \dots, i_{md}$ 。在现实中多个制造商和多个供应商的网状的供需关系下,供应商生产负荷率均衡的分配机制将考虑各供应商的负荷现状及级别。根据对各供应商在每周期初始的负荷分析,一般会出现两种情况,针对这两种情况,按供应商生产负荷率均衡的分配策略将采用

不同的分配数学模型:

1) 所有供应商的现有生产负荷率均未能达到应有生产负荷率。

如果对 $\forall i$, 均有:

$$\frac{\sum_{i=1}^n (O_{ti} + S_{t-1,i}) + \sum_{j=1}^m D_{tj}}{\sum_{i=1}^n C_i} \geq \frac{O_{ti} + S_{t-1,i}}{C_i}$$

则根据供应商的现有生产负荷率与应有生产负荷率差额分配订单的思想,对每个供应商都分配适量的订单,即第 t 周期供应商 i 的应得订单量为:

$$P_{ti} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_{ti} + S_{t-1,i}) + \sum_{j=1}^m D_{tj}}{\sum_{i=1}^n C_i} - \frac{O_{ti} + S_{t-1,i}}{C_i} \right) * C_i \quad (3)$$

2) 个别供应商已处于超出应有负荷率状态。

若 $\exists x = i$, 使得:

$$\frac{\sum_{i=1}^n (O_{ti} + S_{t-1,i}) + \sum_{j=1}^m D_{tj}}{\sum_{i=1}^n C_i} < \frac{O_{tx} + S_{t-1,x}}{C_x}$$

那么在这个周期,对已超出应有负荷率的供应商将不再分配给供应商 x 订单,即:当 $i = x$ 时,

$$P_{tx} = 0 \quad (4)$$

其余的供应商则依据现有生产负荷率与新的应有生产负荷率(即剔除供应商 x 的应有生产负荷率)差额分配订单的思想,其应得订单量见式(5)。即:当 $i \neq x$ 时,

$$P_{ti} = \left(\frac{\sum_{i=1, i \neq x}^n (O_{ti} + S_{t-1,i}) + \sum_{j=1}^m D_{tj}}{\sum_{i=1, i \neq x}^n C_i} - \frac{O_{ti} + S_{t-1,i}}{C_i} \right) * C_i \quad (5)$$

在应得订单量确定的情况下,还要进一步考虑供应商的优先级关系,具体的分配策略如下:

① 第1优先级。

如果 $\exists k_1 = j_m$, 使 $D_{tj_m} \leq P_{ti_{m1}}$, 或者供应商集合 A_{j_m} 中只有1个元素,则将制造商 j_m 的订单全部分配给其第1优先级供应商,即:

$$P_{ti_{m1}j_m} = D_{tj_m} \quad (6)$$

否则分配给其第1优先级供应商的订单量为供应商的应得订单量,即:

$$P_{ti_{m1}j_m} = P_{ti_{m1}} \quad (7)$$

② 第2优先级。

当 $j_m \neq k_1$ 时,如果 $\exists k_2 = j_m$, 使 $D_{tj_m} - P_{ti_{m1}j_m} \leq P_{ti_{m2}} - P_{ti_{m2}A_{i_{m2}}}$, 或者供应商集合 A_{j_m} 中只有2个元素,则将制造商 j_m 剩余的订单全部分配给其第2优先级供应商,即:

$$P_{ti_{m2}j_m} = D_{tj_m} - P_{ti_{m1}j_m} \quad (8)$$

否则分配给其第2优先级供应商的订单量为供应商 i_{m2} 的应得订单量与 i_{m2} 已经得到的订单量之差与0之中的较大值(因为 $P_{ti_{m2}} - P_{ti_{m2}A_{i_{m2}}}$ 存在为负的情况),即:

$$P_{ti_{m2}j_m} = \max(P_{ti_{m2}} - P_{ti_{m2}A_{i_{m2}}}, 0) \quad (9)$$

③ 第 d 优先级。

对于最后一级供应商, 将所有 $j_m \neq \{k_1, k_2, \dots, k_{d-1}\}$ 的制造商的剩余订单量分配给其最后一级供应商, 即: 当 $j_m \neq \{k_1, k_2, \dots, k_{d-1}\}$ 时,

$$P_{\mu_{md}j_m} = D_{\mu_{md}j_m} - P_{\mu_{md}j_m} - \dots - P_{\mu_{md}j_m} \quad (10)$$

以上分配策略能保证制造商 j 分配给其供应商的订单总和等于制造商 j 的总订单量。

2 实例仿真验证

为了验证所建立的模型能使得各个供应商的生产负荷趋于均衡, 我们研究了产业集群内注塑机零部件生产企业的订单分配问题。根据对 3 个制造企业及与其有业务往来的 5 个供应商以往的订单需求及生产数据用统计分析软件 Stat: Fit 进行数据分析, 汇总得到供应商从其他企业接收到的订单的均值、订单波动(方差)及现有生产负荷率如表 1, 制造商订单需求及与其有业务往来的供应商的优先级见表 2。经分析发现订单需求用正态分布函数拟合效果最好, 拟合值可以达到 0.8 以上。

表 1 供应商信息表

供应商编号	均值	方差	最大生产能力	现有生产负荷率/%
1	62.10	40.91	138	45
2	46.23	20.53	201	23
3	79.50	91.01	159	50
4	88.74	121.08	174	51
5	73.50	70.21	210	35

表 2 制造商信息表

制造商编号	均值	方差	第 1 优先级 供应商	第 2 优先级 供应商	第 3 优先级 供应商
1	65.7	72.94	1	3	2
2	120.0	174.24	2	4	—
3	97.5	132.36	5	3	4

注: “—”表示制造商 2 没有第 3 优先级供应商。

本文在 Simio 平台上构建了该供应链的离散系统仿真模型, 并按照企业实际运作数据对模型进行了为期一年的运行。分别从时间和空间维度对运行结果进行了分析整理。在时间维度上, 由于供应商在接收到制造商订单前后的负荷均值不一样, 方差并不能完全表征供应商生产负荷的波动大小, 为

此建立负荷波动率指标 L_i , 它表示生产负荷波动占生产负荷均值的比例, 由负荷标准差及负荷均值决定。具体见式(11)。

$$L_i = \sqrt{S_i^2} / \bar{X}_i \quad (11)$$

其中: $S_i^2 = \frac{1}{T-1} \sum_{i=1}^T (L_{ii} * C_i - \bar{X}_i)^2$ 为一段时期内供应商生产负荷的方差; $\bar{X}_i = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (L_{ii} * C_i)$ 为一段时期内供应商生产负荷的均值; L_{ii} 为供应商生产负荷率, 它由供应商每个周期的订单量及生产能力决定。

$$L_{ii} = \frac{\sum_{j \in A_i} P_{ij} + O_{ii} + S_{i-1,i}}{C_i}$$

在制造商分配订单前后, 各个供应商的负荷方差和波动率见表 3。由表 3 可知, 制造商分配订单后各个供应商的负荷波动率均明显小于分配前; 除供应商 2 外, 其余供应商分配后的订单方差亦均小于分配前, 即缩小了供应商的生产负荷波动。分配后供应商 2 的方差大于分配前, 这是由于供应商 2 的现有生产负荷率比较低, 制造商分配订单后其生产负荷率达到 71.69%, 是现有生产负荷率 23% 的 3 倍还要多, 致使其负荷差值变大, 由于其负荷波动率明显缩小, 即负荷波动比例缩小了, 所以供应商 2 的生产负荷波动也缩小了。

表 3 供应商负荷方差和负荷波动率

供应商	负荷波动(方差)		负荷波动率	
	分配前	分配后	分配前	分配后
1	40.91	16.52	0.103	0.041
2	20.53	43.77	0.098	0.046
3	91.01	21.25	0.120	0.041
4	121.08	42.60	0.124	0.053
5	70.21	35.74	0.114	0.040

在空间维度上, 一段时期内各个供应商的平均生产负荷率如图 1, 供应商每个周期的生产负荷率如图 2 所示。

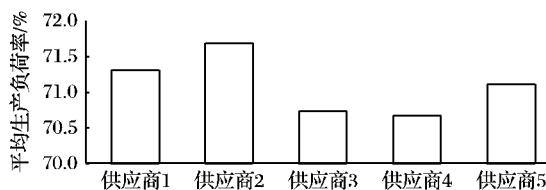


图 1 供应商平均生产负荷率

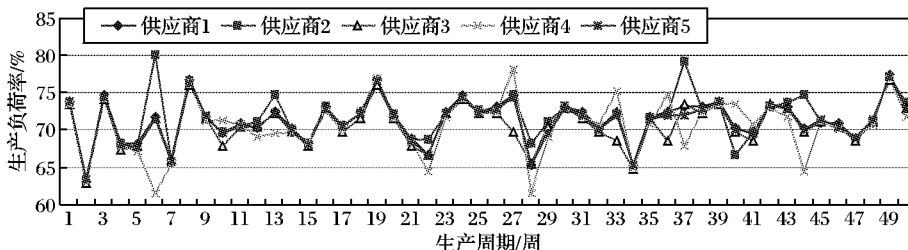


图 2 供应商生产负荷率

由图 1 可知各个供应商的平均生产负荷率分别为 71.32%, 71.69%, 70.74%, 70.67%, 71.11%, 最大值与最小值仅有一个百分点的差距。由图 2 可知各个供应商每个周期的生产负荷率都很接近, 而且 80% 以上几乎完全相同。偶尔某个周期内个别供应商的生产负荷率差别较大是由在这周期某些制造商的订单量特别大而某些特别小, 但订单量大的制造商与订单量小的制造商的供应商没有业务往来造成的; 或

者是由某个供应商的已有订单量特别大, 现有生产负荷率已经大于应有生产负荷率, 即使各个制造商都不再分配给其订单也不能均衡各个供应商的负荷率造成的。

3 结语

本文根据企业运作的实际情况通过仿真分别从时间及空间维度验证了基于生产负荷率均衡准则的订单分配模型可以

有效均衡各供应商的生产负荷。基于生产负荷率均衡的订单分配策略不仅从采购方角度考虑问题,即从制造资源上保证下达的订单得以顺利完成,而且还从供应商角度考虑,尽量平衡各个供应商的生产负荷,以便供应商可以持续发展。从采购方顺利完成订单的角度看,依据供应商的生产负荷率进行订单的分配实质上是以合理利用供应商的剩余生产能力为基础,从而保证制造商下达的订单能顺利完成。从供应商的持续发展和整个制造系统的优化角度看,供应商在较长时期内保持合理的生产负荷率将对其生产成本、产品质量、按时供货等综合能力产生有利影响,也有助于供应商在诸如研发投入、设备保障、员工培训等方面有更多的作为。通过订单分配实现多供应商之间生产负荷率的均衡,有利于实现产业集群内制造资源的合理配置,强化产业集群的竞争优势。尤其在供应商生产规模较小,生产负荷波动较大的情况下,更具有现实意义。

参考文献:

- [1] PAN A C. Allocation of order quantity among suppliers [J]. *Journal of Purchasing and Materials Management*, 1989, 25(3): 36-39.
- [2] KUMAR M, VRAT P, SHANKAR R. A fuzzy goal programming approach for vendor selection problem in a supply chain [J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2004, 46(1): 69-85.
- [3] ARAZ C, OZFIRAT P M, OZKARAHAN I. An integrated multicriteria decision-making methodology for outsourcing management [J]. *Computers & Operations Research*, 2007, 34(12): 3738-3756.
- [4] FAEZ F, GHODSYPOUR S H, O'BRIEN C. Vendor selection and

order allocation using an integrated fuzzy case-based reasoning and mathematical programming model [J]. *International Journal of Production Economics*, 2009, 121(2): 395-408.

- [5] YANG FENGCHENG, CHEN KUENTAI, WANG MINGTZONG, *et al.* Mathematical modeling of multi-plant order allocation problem and solving by genetic algorithm with matrix representation [J]. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2010, 51: 1251-1259.
- [6] KORPELA J, KYLAHEIKO K, LEHMUSVAARA A, *et al.* An analytic approach to production capacity allocation and supply chain design [J]. *International Journal of Production Economics*, 2002, 78(2): 187-195.
- [7] KAWTUMMACHAI R, HOP N V. Order allocation in a multiple-supplier environment [J]. *International Journal of Production Economics*, 2005, 93-94(1): 231-238.
- [8] 程方启, 叶飞帆, 杨建国. 水平型制造协作联盟订单分配多目标优化模型研究[J]. *计算机集成制造系统*, 2008, 14(12): 2317-2322.
- [9] 叶飞帆, 程方启. 面向产业集群内多供应商的订单分配模型研究[J]. *宁波大学学报: 理工版*, 2010, 33(1): 73-79.
- [10] CHAN H K, CHAN F T S. Comparative study of adaptability and flexibility in distributed manufacturing supply chains [J]. *Decision Support Systems*, 2010, 48(2): 331-341.
- [11] 李苏珂, 刘盛强, 喻道远, 等. 面向整车混流装配线客户订单的优化分配排序[J]. *中国机械工程*, 2010, 23(20): 2459-2462.

(上接第2827页)

关节角的反馈值。所得各关节角的反馈值,经过正运动学的验算,均能正确地得到测试样本中的踝关节期望位姿,再通过比赛平台对这些反馈值进行检验,测试结果符合预期,并且在实际比赛平台中运行时,NAO模型的动作精度和动作的稳定性明显提升,在行走和踢球的过程中倒地次数明显减少,在实际对抗过程中,采用该种算法的NAO模型的相对稳定性也相对较高。该实验结果表明上述的算法能够满足实际比赛要求,将上述算法应用于实际的RoboCup仿真3D竞赛中,在全国及世界比赛中均取得了较好的成绩。

4 结语

本文采用实时解析法对NAO模型的下肢关节进行了运动学的位姿逆解分析,建立了仿人机器人NAO模型下肢关节的运动学位姿逆解的数学模型,采用实时解析法直接求解NAO模型下肢关节的运动学逆解。这种实时求解方法很好地实现了NAO模型在实际运动过程中的实时性、精确性和稳定性,增强了NAO模型在比赛中的实际对抗能力。通过真实比赛平台进行测试,测试结果说明了该方法实用有效,求解结果精度高,完全符合实际比赛的需求,并且较大提高了实际竞技水平和实际应用能力。

参考文献:

- [1] HANS-DIETER B, DOMINIQUE D, MASAHIRO F, *et al.* The road to RoboCup 2050 [J]. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 2002, 9(2): 31-38.
- [2] 张茂川, 蔚伟, 刘丽丽. 仿人机器人理论研究综述[J]. *机械设计*

与制造, 2010(4): 166-168.

- [3] 阮晓钢, 仇忠臣, 关佳亮. 双足行走机器人发展现状及展望[J]. *机械工程师*, 2007(2): 17-19.
- [4] 夏泽洋. 仿人机器人学研究新动向[J]. *国际学术动态*, 2008(4): 15-16.
- [5] NIKU S B. 机器人学导论[M]. 孙富春, 朱纪洪, 刘国栋, 译. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [6] 谭民, 徐德, 侯增广, 等. 先进机器人控制[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [7] 程显毅, 王军, 张俊. RoboCup 3D Server 分析[J]. *计算机工程与科学*, 2006, 28(3): 119-122, 130.
- [8] BOEDECKER J, DORER K, ROLLMANN M, *et al.* SimSpark user's manual V1. 2 [DB/OL]. [2010-09-10]. <http://simspark.sourceforge.net/wiki/>.
- [9] CRAIG J J. 机器人学导论[M]. 负超, 译. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [10] 何凯, 姜昱明. 基于逆运动学的虚拟人行走[J]. *系统仿真学报*, 2004, 16(6): 1343-1345.
- [11] 王剑, 绳涛, 马宏绪. 仿人机器人逆运动学在线求解方法研究[J]. *控制工程*, 2008, 15(6): 715-719.
- [12] 梶田秀司. 仿人机器人[M]. 管贻生, 译. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [13] 刘松国, 朱世强, 李江波, 等. 6R机器人实时逆运动学算法研究[J]. *控制理论与应用*, 2008, 25(6): 1037-1041.
- [14] 周芳芳, 樊晓平, 赵颖. 机器人逆运动学求解的可视化算法[J]. *计算机工程*, 2006, 32(14): 193-195.
- [15] 刘华山, 朱世强, 吴剑波, 等. 基于向量内积的机器人实时逆解算法[J]. *农业机械学报*, 2009, 40(6): 212-216.