文章编号:1674-7070(2013)02-0154-05

制造网格中资源的区间转化与多目标优化选择方法

付景枝[1]　刘俊栋[1]

摘要

针对制造网格资源检索问题,提出了用区间方法描述制造资源与制造任务能力参数的思想,同时给出了能力参数从区间形式转化为确定值形式的具体转化规则.结合多目标优化思想,构造了基于距离的目标函数和遗传算子.采用基于非支配解的快速排序方法产生一组非支配解供用户选择.最后给出一个典型事例,验证该算法的有效性.

关键词

制造网格;资源检索;区间转化;多目标遗传算法

中图分类号 TP393

文献标志码 A

收稿日期 2011-07-02

作者简介

付景枝,女,讲师,博士,主要研究方向网格制造、网络化制造等. jennyfjz@163.com.

1 南京信息工程大学 信息与控制学院,南京,210044

0 引言

制造生产模式是制造业为了提高产品质量、市场竞争力、生产规模和生产速度,以完成特定的生产任务而采取的一种有效的生产方式和一定的生产组织形式.随着计算机网络技术与经济全球化的快速发展,传统的制造业生产模式正面临着一场革新,网络制造模式的运用已是大势所趋.为了在互联网时代能够获得更多生存空间,企业在完成大型复杂的制造任务时,往往需要利用全球范围内的闲散资源和优势资源,实现多企业间的资源共享,制造网格的概念便由此提出,它将每种资源作为一个节点,用户只要将企业的任务需求提交到网格平台,网格将自动为用户分配最佳的资源.

制造资源的优化检索方法是制造网格技术需解决的首要问题.随着制造任务规模的增大,应用传统的穷举法[1-2]或最速下降法[3-4]容易陷入局部最优,为此,许多学者研究了制造网格环境下资源选择方法,如文献[5]提出了一种基于量子粒子群的智能迭代算法,该算法采用整数编码方式,将网格资源调度问题转化成准连续优化问题,并采用加权目标组合的方式处理多目标条件;文献[6]提出了一种基于多 Agent 和遗传算法的优化算法,将每个企业或资源用一个 Agent 表示,多个 Agent 通过协商达成一致协议;文献[7]提出了一种基于遗传模拟退火算法的制造资源调度策略,采用 AHP 法分析各目标权重,并对各个目标函数无量纲化.但是,以上方法在计算目标函数值时,都需要根据用户喜好或经验,为每个目标分配权重,使之成为单目标优化问题,然而实际情况中,往往很难为每个目标确定一个合适的权重,且解的值依赖于权重的选择;同时,以上算法还将资源的时间、成本、质量、服务等信息定量描述成确定的数值,这也与事实不符,因为网络中的制造资源信息往往都是不确定的,甚至缺失的,人们更习惯于用一个范围区间来描述某个资源的信息.为了保证资源检索方法的有效性及适用性,本文提出了一种基于多目标遗传算法与不确定信息性能区间转化规则的制造资源优化检索方法.该算法运行一次可以产生一组非支配解供用户选择.

1 问题描述与区间转化规则

1.1 问题的描述

在网络化制造环境中,每个制造任务和任务的候选资源都有其

自身能力信息[8]. 制造资源能力信息用来描述使用该资源所需时间周期、使用成本、服务质量等信息,而制造任务能力信息用来描述该任务需达到的生产周期、使用成本、服务质量等约束. 因此,可以分别从任务需求与制造资源两个角度定义一个制造任务的资源检索过程. 假设加工某类制造任务有 m 个约束条件,该任务有 n 个候选资源可供选择.

定义 1 制造资源能力参数域:针对某一制造请求任务,制造资源能力所能达到的范围. 第 i 个制造资源的能力参数域可记为

$$R_i = \{R_{i1},R_{i2},\cdots,R_{ij},\cdots,R_{im}\} = \{[\underline{r}_{i1},\bar{r}_{i1}],[\underline{r}_{i2},\bar{r}_{i2}],\cdots,[\underline{r}_{ij},\bar{r}_{ij}],\cdots,[\underline{r}_{im},\bar{r}_{im}]\},$$

$$i \in (1,2,\cdots,n), j \in (1,2,\cdots,m),$$

其中,R_{ij} 表示第 i 个制造资源针对制造任务的第 j 个能力信息,$\underline{r}_{ij}$ 表示该制造资源的能力下限,$\bar{r}_{ij}$ 表示该制造资源能力的上限.

定义 2 任务需求能力约束域:在网络化制造环境中,客户对某一制造任务所提出的能力需求,它是任务能力参数必须达到的属性区间. 记为

$$T = \{T_1,T_2,\cdots,T_m\} = \{[\underline{t}_1,\bar{t}_1],[\underline{t}_2,\bar{t}_2],\cdots,[\underline{t}_m,\bar{t}_m]\}.$$

定义 3 区间转化:每一个制造资源的能力信息可以用区间内具有代表性的一个值代替,即可以将制造资源能力参数域转化为 $R_i = \{R_{i1},R_{i2},\cdots,R_{ij},\cdots,R_{im}\} = \{r_{i1},r_{i2},\cdots,r_{ij},\cdots,r_{im}\}$,其中,$r_{ij} \in [\underline{r}_{ij},\bar{r}_{ij}]$. 每一个制造任务能力需求也可以用区间内具有代表性的一个值代替,即可以将任务需求能力约束域转化为 $T = \{t_1,t_2,\cdots,t_j,\cdots,t_m\}$,$t_j \in [\underline{t}_j,\bar{t}_j]$.

定义 4 任务到资源的映射:在实际的制造资源选择过程中,将制造任务需求能力参数与各候选资源能力参数作比较,综合考虑资源能力与任务需求能力,计算资源与任务之间的距离,从中选择能够完成指定制造任务的最佳制造资源的过程被称为任务到资源的映射.

1.2 制造任务区间的转化规则

网络制造环境下,制造任务的能力参数域往往是不确定的、模糊的,它会有很多不同的表达方式. 针对每一种可能出现的形式,本文给出如下转化规则.

规则 1 若制造任务的某一能力参数域已是一个精确值,此情况不作转化.

规则 2 若制造任务的能力参数域是开区间,则转化为相应的闭区间,然后取区间的中间值作为代表值. 具体方法为

$$[\underline{t}_j,\bar{t}_j] \xrightarrow{\text{转化}} t_j,\text{其中 } t_j = \frac{\underline{t}_j + \bar{t}_j}{2}.$$

规则 3 若制造任务的能力参数域是一个极限值,则取该任务的临界值,即当制造任务的形式为 $(-\infty,\bar{t}_j]$(或$[\underline{t}_j,+\infty)$)时,取 $t_j = \bar{t}_j$(或 $t_j = \underline{t}_j$).

1.3 制造资源的区间转化规则

同样对于制造资源的能力参数域,可以制定如下规则将其转化为一个有代表性的值.

规则 4 若制造资源的某一能力参数域已是一个精确值,此情况不作转化.

规则 5 若制造资源的某一能力参数域的某端是一个开区间,则将其转化成相应的闭区间,然后取区间的中间值作为代表值. 即

$$[\underline{r}_{ij},\bar{r}_{ij}] \xrightarrow{\text{转化}} r_{ij},\text{其中 } r_{ij} = \frac{\underline{r}_{ij} + \bar{r}_{ij}}{2}.$$

规则 6 当制造资源的某一能力参数域是一个极限值时,即 $R_{ij} \in [r_{\min},+\infty)$(或 $R_{ij} \in (-\infty,r_{\max}]$),有下面两种情况.

1)当 $R_{ij} \cap T_j = \Phi(j = 1,2,\cdots,m)$ 时,表示该资源能力参数域与任务需求能力约束域没有交集,它不可能是此任务的候选资源.

2)交集不为空时又有两种情况:当 $R_{ij} \cap T_j = [\max(r_{\min},\underline{t}_j),\min(r_{\max},\bar{t}_j)]$ 时,转化为 $r_{ij} = \frac{\max(r_{\min},\underline{t}_j) + \min(r_{\max},\bar{t}_j)}{2}$;当 $R_{ij} \cap T_j = [-\infty,\bar{t}_j]$(或$R_{ij} \cap T_j = [\underline{t}_j,+\infty]$)时,取任务值 $r_{ij} = \bar{t}_j$(或 $r_{ij} = \underline{t}_j$)

规则 7 若制造资源的能力参数域没有限制(用"/"表示),表示它完全可以满足任务需求,可用任务能力参数域转化后的值代替该资源的能力参数值,即 $r_{ij} = t_j$.

2 基于制造资源能力参数区间的多目标遗传算法

不同于单目标问题,多目标问题处理的目标函数之间往往是相互冲突相互制约的,某个目标的改进往往会造成其他目标的削弱,因此,多目标问题的解集通常不是单一解,而是一组最优解的集合.

2.1 Pareto 最优解

定义 5(非支配解)对于可行集中一个解 x^*,如果找不到一个解 $x \in S$(S 为可行集)使 $f_1(x) \leqslant f_1(x^*),f_2(x) \leqslant f_2(x^*),\cdots,f_p(x) \leqslant f_p(x^*)$,则 x^*

称为非支配解(Pareto 最优解).

非支配解表明,在可行集中再找不到一个可行集 x,使得 $f_1(x), f_2(x), \cdots, f_p(x)$ 的每一个目标函数都不比 $f_1(x^*), f_2(x^*), \cdots, f_p(x^*)$ 的相应目标坏,并且至少一个目标值要比 x^* 的相应目标值好.

2.2 编码方式

本文采取二进制编码方式对制造资源选择问题进行编码. 假设某一制造任务的候选资源有 n 个,则对应的二进制编码的长度就为 n,编码某一位为 1 时代表该资源被选中,为 0 时代表该资源不被选择. 这样的编码方式简明直观,有助于算法遍历问题所有解的空间.

2.3 种群的初始化

按照上述编码方式,随机产生若干(假设为 N)个个体作为初始种群 Pop(0). 初始化时,必须对每个个体进行约束性检查,只有符合约束条件的个体才被保留下来,否则舍弃该个体,重新生成代码,直至产生 N 个符合约束的第一代种群为止. 对于制造资源选择问题,往往会规定某个制造任务必须从候选资源中选取若干个资源来使用,它们组成了代码的约束性条件.

2.4 目标函数

在制造网格资源选择问题中,通常将任务制造所需时间(T)、产品质量(Q)、制造成本(C)与服务水平(S)作为资源选择的指标进行优化. 通过规则 1—3,将用区间表示的制造任务能力信息转化成区间内具有代表性的值 t_1、t_2、t_3 和 t_4. 再经过规则 4—7 的转化,第 i 个候选资源的能力信息也转化为区间内的值 r_{i1}、r_{i2}、r_{i3} 和 r_{i4}. 利用距离的概念,可以计算出多目标函数值 d_T(时间距离)、d_Q(质量距离)、d_C(成本距离)和 d_S(服务距离),计算方法如下:

$$d_T = \sqrt{(r_{i1} - t_1)^2}; \quad d_Q = \sqrt{(r_{i2} - t_2)^2};$$

$$d_C = \sqrt{(r_{i3} - t_3)^2}; \quad d_S = \sqrt{(r_{i4} - t_4)^2}.$$

d_T、d_Q、d_C、d_S 越小,表示资源与任务的距离越小,贴近度越高. 这样,问题转化为从给定的候选资源中选择出若干个最佳资源,使它的 4 个目标函数同时得到优化.

2.5 适应值分配与选择

本文采用 NSGA-2(Non-Dominated Sorting in Genetic Algorithms-2)[9-10]的适应值分配策略. 该方法是一种基于 Pareto 最优概念的多目标演化算法,它的主要思想是对种群中的每个个体按支配关系进行排序并且为其分配一个 rank 值,同时计算非支配解之间的拥挤距离,最后,结合精英机制,在当前种群和子代种群中,按照 rank 值从小到大选择个体,若某些个体具有相同的 rank 值,则选择那些拥挤距离大的,直至产生足够数量的个体组成新一代种群.

2.6 遗传算子

本文采用单点交叉方式,按照给定的变异概率 P_m 随机选取基因中的某些位取反. 一般情况下,交叉概率 P_c 取一个较大的数,比如 0.9,变异概率 P_m 取一个较小的数,在 0.05 以下.

3 算法的流程

1)种群的初始化. 随机产生一个种群大小(popsize)为 N 的初始群体 Pop(0),并且设置算法的计数器 $t = 0$,最大进化代数为 T.

2)适应值评价. 按照 2.4 所述计算方法,计算出每个个体的 d_T、d_Q、d_C、d_S 目标函数值,从中找出所有非支配解,分配 rank 值为 1,并将其从竞争中移去. 然后从当前剩余种群中继续选择非支配解并对其分配 rank 值为 2. 该过程持续到种群中所有个体都分配到次序后结束. 同时计算出具有相同 rank 值的个体的平均拥挤距离(crowding distance),拥挤度越大反应种群多样性越好.

3)使用二进制联赛法从种群中选择个体组成父代群体 parents(t),rank 值小的或者平均拥挤距离大的被选中.

4)遗传操作. 父代群体 parents(t)通过模拟二进制交叉(SBX)和变异算子产生子代群体 offsprings(t).

5)产生下一代群体体 Pop($t+1$). 将父代群体 parenst(t) 和子代群体 offsprings(t) 根据支配关系分配 rank 值且计算平均拥挤距离,从中选择最好的 N 个个体组成新一代群体 Pop($t+1$).

6)终止准则. 如果进化代数 t 超过最大进化代数 T,则输出计算结果,算法终止;否则 $t = t + 1$,转入 2).

4 仿真实例

网络环境下,针对某类制造任务的候选资源种类繁多,为了方便说明本文算法的有效性,不妨假设可供选择的候选资源有 12 个,资源的能力参数域如表 1 所示.

制造任务能力信息为时间不超过 30 h、控制产品的质量在[0.5,1]内、生产成本控制在[93,193]

表 1　初始情况下资源的能力参数域

Table 1　Initial parameter domain of resource abilities

制造资源能力信息	时间/h	质量	成本/元	服务
R_1	约 21	≥0.52	≤192	[0.51,0.77]
R_2	28	0.95	[98,202]	约 0.56
R_3	[19,30]	/	≥183	0.68
R_4	≤38	≥0.86	144	[0.63,0.99]
R_5	[26,35]	[0.55,0.9]	[126,233]	/
R_6	约 27	≤0.72	≥178	0.83
R_7	[8,16]	0.9	[128,153]	≥0.3
R_8	≥24	[0.2,0.7]	150	约 0.4
R_9	[10,40]	≥0.7	≤233	[0.7,0.9]
R_{10}	/	[0.3,0.6]	103	≥0.46
R_{11}	22	[0.25,0.88]	[118,120]	0.58
R_{12}	[22,45]	/	[98,186]	[0.4,0.45]

元以及提供的服务为 0.6. 现从上述 12 个候选资源中选择 1 个与任务能力需求最贴近的资源作为最优解. 运用转化规则 1—7,可以将上述具有不确定特点的能力信息转化为区间内的代表值. 任务的能力信息转化为时间 30 h,质量 0.75,成本 143 元,服务 0.6. 转化后的资源能力信息如表 2 所示.

表 2　转化后资源的能力信息参数

Table 2　Parameters of resource abilities after transformation

制造资源能力信息	时间/h	质量	成本/元	服务
R_1	21.0	0.760	142.5	0.64
R_2	28.0	0.950	150.0	0.56
R_3	24.5	0.750	188.0	0.68
R_4	30.0	0.930	144.0	0.81
R_5	30.5	0.725	179.5	0.60
R_6	27.0	0.610	185.5	0.83
R_7	12.0	0.900	140.5	0.60
R_8	27.0	0.450	150.0	0.40
R_9	20.0	0.850	143.0	0.80
R_{10}	30.0	0.450	103.0	0.60
R_{11}	22.0	0.565	119.0	0.58
R_{12}	33.5	0.750	142.0	0.42

仿真实验在 Visual Studio 环境下进行. 程序开始运行后,设置参数:种群大小为 80 个,基因长度为 12,进化代数 T = 180 代,选择模拟二进制交叉(SBX)方式,交叉概率 P_c 为 0.8,变异概率 P_m 为 0.035. 算法运行结束后,产生 5 个非支配解供用户选择,如表 3 所示.

表 3　算法运行结果

Table 3　Algorithm simulation results

方案	非支配解	时间/h	质量	成本/元	服务
1	R_1	21.0	0.76	142.5	0.64
2	R_3	24.5	0.75	188.0	0.68
3	R_9	20.0	0.85	143.0	0.80
4	R_{10}	30.0	0.45	103.0	0.60
5	R_{12}	33.5	0.75	142.0	0.42

这些非支配解都无法在改进任何目标函数的同时不削弱至少一个其他目标函数,它们都达到了多目标优化的目的. 用户可以根据对问题的了解程度和个人偏好从中选择一个解作为最终解. 例如,若企业要求制造任务准时完成,可以选择方案 4,因为它与时间参数的距离 d_T = 0,贴近度最高;若企业对制造任务所需成本严格控制,可以选择方案 3,因为它的 d_C = 0.

5　结束语

多目标优化是制造资源优化检索与配置的一个重要的研究方向,它能一次同时优化多个目标,克服了单目标问题对指标权重的依赖性. 在网络化环境下,对制造资源能力信息与任务需求能力约束信息的不确定性能区间建模比精确值建模更好地反映工程实践中环境变量的复杂性,它更符合人们认知的规律性. 本文对多目标遗传算法 NSGA-2 与不确定信息性能区间进行了讨论,提出了对不确定制造资源参数区间进行转化的规则以及应用多目标遗传算法进行制造资源优化检索的方法. 仿真实验结果表明了本文所提出的算法的有效性.

参考文献

References

[1] 马妍,付伟. 穷举法在制造业生产管理中的应用[J]. 财会通讯,2009(10):109-111
MA Yan, FU Wei. Application of exhaustive method in productive management of manufacturing[J]. Communication of Finance and Accounting,2009(10):109-111

[2] 李建华,张伟军,袁建军,等. 穷举法求解含有约束的冗余度机械臂的最大运动路径[J]. 机械与电子,2009(12):51-54
LI Jianhua, ZHANG Weijun, YUAN Jianjun, et al. Using exhaustive method to find the maximal motion distance of a redundant manipulator with restuictions[J]. Machinery & Electronics,2009(12):51-54

[3] 曲英杰,宫献军,孙光亮. 工程优化中最速下降法的加速技巧[J]. 山东工业大学学报, 1996, 26(4): 495- 498
QU Yingjie, GONG Xianjun, SUN Guangliang. Improvement for the method of steepest descent in engineering optimization[J]. Journal of Shandong University of Technology, 1996, 26(4): 495-498

[4] 李鸿仪. 理想化最速下降法及其逼近实例[J]. 上海第二工业大学学报, 2011, 28(1): 8-13
LI Hongyi. Idealized steepest descent method and its approximate example[j]. Journal of Shanghai Second Polytechnic University, 2011, 28(1): 8-13

[5] 宋书强,叶春明. 基于量子粒子群算法的制造网格资源调度问题研究[J]. 制造业自动化, 2008, 30(10): 40-43
SONG Shuqiang, YE Chunming. Research on the manufacturing grid resource scheduling problem based on quantum particle swarm alogrithem[J]. Manufacturing Automation, 2008, 30(10): 40-43

[6] 赵付青,李瑞生. 基于多 Agent 和遗传算法的制造网格资源调度[J]. 兰州理工大学学报, 2007, 33(6): 85-88
ZHAO Fuqing, LI Ruisheng. Manufacturing grid scheduling based on multi-agent and genetic algorithm[J]. Journal of Lanzhou University of Technology, 2007, 33(6): 85-88

[7] 刘海霞,李仁旺,李学,等. 基于遗传模拟退火算法的制造网格资源调度策略[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(6): 234-236
LIU Haixia, LI Renwang, LI Xue, et al. Resource scheduling strategy in manufacture grid based on genetic algorithms and simulated annealing[J]. Computer Engineering and Application, 2008, 44(6): 234-236

[8] 付景枝,刘婷婷,张友良. 制造网格中资源的层次检索方法研究[J]. 计算机集成制造系统, 2008, 14(5): 1008-1014
FU Jingzhi, LIU Tingting, ZHANG Youliang. Hierarchy-searching method for resource in manufacturing grid[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2008, 14(5): 1008-1014

[9] Deb K, Pratap A, Agarwal S, et al. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-Ⅱ[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2002, 6(2): 182-197

[10] 鞠海华,刘长安,张伟,等. 基于带精英策略的 NSGA-Ⅱ遗传算法的车间作业调度研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2008(4): 15-19
JU Haihua, LIU Changan, ZHANG Wei, et al. The research on job-shop scheduling based on the elitist non-dominated sorting genetic alogrithm[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2008(4): 15-19

Research on interval transformation of resource in manufacturing grid and multi-objective optimization selection method

FU Jingzhi[1] LIU Jundong[1]

1 School of Information and Control, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

Abstract An idea of using interval method to describe the ability parameters of manufacturing resources and manufacturing tasks is put forward. Specific transformation rules are proposed to transform the range form into the value form of ability parameters. Then distance-based objective functions and genetic operators with multi-objective optimization idea are constructed. Non-dominated solutions based on the rapid sorting method produce a set of non-dominated solutions for the user to choose. Finally, a typical example validates the effectiveness of the algorithm.

Key words manufacturing grid; resource search; range transformation; multi-objective genetic algorithm