

基于改进型遗传算法的热轧生产计划调度系统

孙鹤旭¹, 李晓婷¹, 花季伟², 雷兆明¹

(1. 河北工业大学 控制科学与工程学院, 天津 300130; 2. 天津师范大学 计算机与信息工程学院, 天津 300074)

摘要:针对热轧型钢生产计划编制的约束条件复杂、易延误交货期、不易寻求最优解等问题,采用面向可拆分订单的批策略思想建立了新的生产计划模型,并针对新模型改进了遗传算法,提出了拆分染色体遗传算法。结合某钢铁企业实例,在建立基于批决策与批调度热轧数学模型、列举实际生产约束条件之后,阐明了此种新算法的应用过程,并且通过不同的订单数据进行模拟计算和结果比较,证明了该模型及算法得出的生产计划可节省生产时间、降低设备调度、减少交货延误,以此来指导热轧型钢的生产,可切实提高企业利润率。

关键词:生产计划与调度;热轧型钢;订单;遗传算法

中图分类号:TP391 文献标志码:A

Hot Rolling Production Planning and Scheduling System Based on Improved Genetic Algorithm

SUN He-xu¹, LI Xiao-ting¹, HUA Ji-wei², LEI Zhao-ming¹

(1. Institute of Control Science and Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China; 2. College of Computer and Information Engineering, Tianjin Normal University, Tianjin 300074, China)

Abstract: The current weaknesses of hot rolling production planning were intricacy of constraints conditions, usualness of delay in delivery and difficulty in exploring the best solution. A new production planning and scheduling model was formulated based on batch scheduling. In order to orient to detachable order, Genetic Algorithm was improved for the new model and it's named detachable chromosomes genetic algorithm. The use of this new algorithm was discussed by a steel enterprise example which based on the new model and the actual production constraints. Running the algorithm on experimental data, the results show that the proposed method was able to save production time, reduce the times of equipment scheduling, reduce the times of delay in delivery and improve the enterprise profit margins.

Key words: production planning and scheduling; hot rolling section steel; order; genetic algorithm

制造执行系统(MES)对有效改善钢铁企业全程供应链管理、降低成本、提高产品服务、支持规模经营起到了举足轻重的作用。其中,计划与调度子系统由于直接与经营计划系统和过程控制

系统相连接,合理的生产计划是保证企业长期规划顺利、顺畅实施和企业生产能力充分发挥的关键所在^[1-2]。目前求解计划编制问题时通常采用智能优化算法,它们能较好地解决复杂系统中出现的组合爆

收稿日期:2012-07-20;修订日期:2012-08-10

基金项目:河北省基础研究重点项目(09963536D);天津师范大学博士基金(52XB1001、52X09013)

作者简介:孙鹤旭(1956—),男,教授,博士生导师,研究方向为全开放网络控制系统、现代传动理论及应用;李晓婷(1986—),女,硕士研究生,研究方向为计算机控制与工程应用;花季伟(1978—),男,讲师,研究方向为计算机软件及计算机应用;雷兆明(1974—),男,讲师,研究方向为自动化技术。

炸问题,常见的有模拟退火算法、粒子群算法、神经网络算法、蚁群算法、遗传算法等等^[3-4]。其中被应用最广泛的是遗传算法,因为相比其他算法,它的编码技术和遗传操作比较简单,算法进行全空间并行搜索,从而能够提高效率且不易陷入局部极小;但是对于大规模的组合优化问题,遗传算法的搜索空间大,局部搜索能力差,往往会出现早熟收敛的情况^[5-8]。为了适应现今社会市场销售以买方为主导而进行的多品种、小批量的生产,结合自适应遗传算法^[9]在建立基于批决策与批调度^[10-12]面向可拆分订单模型基础上,本文提出新的生产计划编制算法——拆分染色体遗传算法,且以此为基础的生产计划与调度系统已于2012年在河北省某钢铁集团热轧型钢厂新生产线的调试中使用。

1 问题描述及数学建模

计划与调度的求解问题是极其复杂的:它的编码难以设计高效的搜索操作;解的数量巨大,不易寻求最优解;计划必须满足负荷工艺约束条件、具有可行性;评估每一个解的优劣很费时等等。并且,如果编制以单个钢坯为单位的生计划,这个求解过程将更加复杂。现有的热轧生建模策略主要有串行和并行两种。其中,串行建模策略如奖金收集旅行商问题(PCTSP)^[13]每运行一次得到一个轧制单元,它属于贪婪策略且容易陷入局部最优。并行策略如奖金收集车辆路径问题(PCVRP)^[14],每运行一次得到多个轧制单元,但是这多个轧制单元之间的生产顺序无法确定,当对轧制单元排序后容易出现大量钢坯拖期的现象。结合以上建模的优缺点,在此采用批决策与批调度^[10-12]的思想建立模型,即以生产一个订单所需的一批钢坯为生产单元来编制生计划。

在实际热轧型钢生产中,生计划的编制为了达到减少更换轧辊次数、降低生产产品的波动性,经常按照班次或者轧辊的最大轧制重量来编制生生产单元。为凑满一个生产单元,经常需要凭借人工经验来调整生计划,这样编制的计划很难成为较优的方案。为了解决此问题以及处理热轧型钢企业多品种、小批量生生产订单而提出了新的热轧型钢生计划编制解决方案——拆分订单排序,即一个生生产订单可以以约束条件为基础拆分成若干部分,它们与其他生生产订单或其他订单的某些部分,混合编制生

产计划,如图1所示。

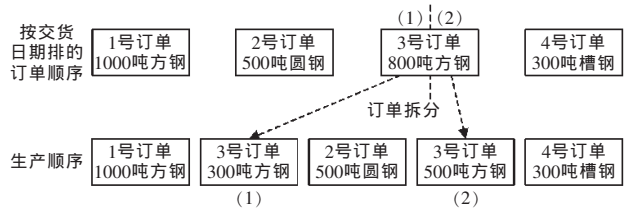


图1 生产订单的拆分

Fig.1 Detach of production order

图1中所示的1号订单和3号订单具有相同的成品品种,而2号订单与他们不同。假设当生产完1号订单后,还有15天的时间才到2号订单的交货日期,但是2号订单仅需要10天的生产时间。为了不让轧机闲置浪费资源,为了节省轧辊的轧制力、节省换轧辊的时间、节省设备的检修时间等等,将3号订单提前一部分进行生产,便可以起到减少能源消耗、降低成本的作用,同时也不会耽误产品的交货日期。如此这样将同品种的生生产订单在满足特定条件下拆分、合并,还有利于实现客户订单需求的快速响应与生计划的动态一致性。

热轧生计划需要在不同钢种、规格和交货期需求下订单的组批,既要保证不能延误交货期,又要尽量减少库存的积压;在轧制生产线上如何调度各个生产环节设备的使用,最大化地利用各个设备的产能,而又要考虑到设备的维护。计划的编制要尽量减少总的生生产时间以确保真正地降低成本。首先对数学模型中参数和变量进行说明:

n 为订单总数; x_{ij} 为 j 订单不拆分且在 i 订单之后生产,则为1,否则为0; t_{ij} 为 i 订单之后生产 j 订单的时间,且 j 订单不拆分,若 i 订单和 j 订单不同品种则其中包括换轧辊的时间; m 为 j 订单拆分为 m 个部分生产; y_{ij}^k 为当 j 订单的第 k 部分在 i 订单之后生产,则为1,否则为0; t_{ijk} 为在 i 订单之后生产 j 订单的第 k 部分,若 i 订单和 j 订单不同品种则其中包括换轧辊的时间; t 为换辊时间、换轧辊导卫时间、设备检修时间等余量时间总和; T_j 为交货时间; τ_s 为当前系统时间; g 为相邻两次换轧辊之间的订单的原料重量; G 为轧辊最大轧制重量; τ_z 为所需钢坯的连铸完成时间; τ_r 为钢坯经过加热炉到达轧机的时间; τ_i 为 i 订单开始生产的时间; τ_{Δ} 为前一个订单生产完和后一个订单开始生产之间的时间差; P_{\min} 为相邻两次换轧辊之间轧制的最小钢坯数; P 为相邻两次换轧辊之间轧制的钢坯数; P_{\max} 为相邻两次

换轧辊之间轧制的最小钢坯数; g_i 为存放在成品库里的成品重量; G_c 为最大库存量。

该问题的数学模型目标函数为

$$J = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m t_{ijk} y_{ij} \quad (1)$$

$i=1, \dots, n, j=1, \dots, n, k=1, \dots, m$

约束条件为

$$t_{ij} + \sum_{k=1}^m t_{ijk} + t \leq T_j - \tau_s \quad (2)$$

$$\sum g \leq G \quad (3)$$

$$\tau_z \geq \tau_i \text{ 或 } \tau_r \geq \tau_i \quad (4)$$

$$t_{ijk} y_{ij} \leq \tau_{\Delta} \quad (5)$$

$$P_{\min} \leq p \leq P_{\max} \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} + y_{ij} = 1, x_{ij} \geq 0, y_{ij} \geq 0 \quad (7)$$

$$\sum g_i \leq G_c \quad (8)$$

目标函数式(1)表示尽量使总生产时间最短,由不拆分的和拆分的订单的生产时间相加;约束条件式(2)表示合同交货期窗口约束,生产计划尽量使合同拖期总惩罚最小,即满足交货时间 T_j ;约束条件式(3)表示钢坯的重量约束,轧制完成一定重量的钢坯后,轧辊轧制能力已大幅度下降,需要更换轧辊;约束条件式(4)表示时间窗约束,即生产订单的开始生产时间 τ_i 应保证在钢坯连铸完成时间 τ_z 之后,或者满足钢坯库中可直接调用的钢坯经过加热炉后到达轧机的时间 τ_r ;约束条件式(5)表示同品种合并生产约束,在一个生产订单生产完毕后,如果轧辊还未达到轧制限制量并且和下一生产订单的最迟生产时间之间有余量,可以将同品种的订单提前一部分合并生产;约束条件式(6)表示相邻两次换轧辊之间的轧制钢坯数必须达到计划人员规定的上下限;约束条件式(7)表示钢坯调度约束,保证一块钢坯只出现在一个轧制单元中,保证钢坯处理的唯一性;约束条件式(8)表示库存约束,编制计划时应考虑提前完成订单时库中是否有能力存入此批成品,并且尽量减少成品库存的占用。

2 基于染色体可拆分的改进型遗传算法

遗传算法将问题的求解表示成“染色体”的适者生存过程,通过“染色体”群的一代代不断进化,最终收敛到“最适应环境”的个体,从而求得问题的最优解或满意解。为了求解可拆分订单的生产计划

编制模型,对遗传算法进行了改进,提出了染色体可拆分的改进型遗传算法,其最不同之处就是在于进化求解过程中,由于作为解得“个体”不再是生产的成品个体的生产顺序,而是反映着客户需求的订单的生产计划,即染色体就是客户们不同品种与规格产品的订单,所以染色体除了具有传统的复制、交叉、和变异等操作外,还增加了自我拆分的功能。该改进型遗传算法流程图如图2所示。

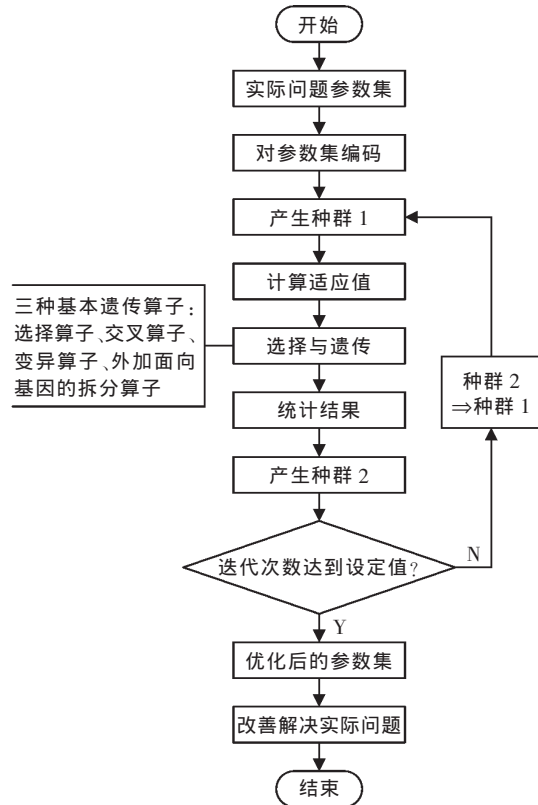


图2 染色体拆分改进型遗传算法流程图

Fig.2 Detachable chromosomes genetic algorithm flow chart

拆分算子的定义:

第1步:随机选择一段染色体并且产生一个合法的拆分点(在编码位数之内的数字);

第2步:从拆分点将染色体拆分成两部分,将其中一部分插入到本个体的任意两个基因之间,例如一个二进制编码的个体,其染色体拆分过程如图3所示。

第3步:将拆分得到的适应值较大的个体,加入到种群中去,得到新的种群。

传统遗传算法中交叉概率和变异概率是固定的。为了提高染色体拆分遗传算法的收敛速度,在此

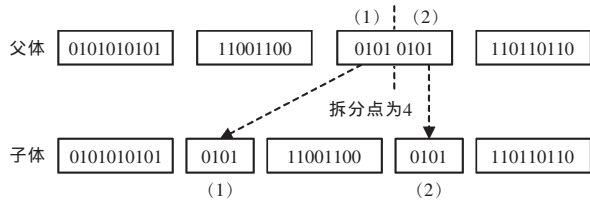


图3 染色体拆分示意图

Fig.3 Detach of chromosomes

采用自适应遗传算法^[9]的交叉概率 P_c 和变异概率 P_m , 计算公式如下:

$$P_c = \begin{cases} k_1 \frac{f_{\max} - f'}{f_{\max} - \bar{f}}, & f' \geq \bar{f} \\ k_3, & f' < \bar{f} \end{cases} \quad (9)$$

$$P_m = \begin{cases} k_2 \frac{f_{\max} - f'}{f_{\max} - \bar{f}}, & f' \geq \bar{f} \\ k_4, & f' < \bar{f} \end{cases} \quad (10)$$

其中: f_{\max} 为最大适应函数值; f' 为参与交叉操作的两个体的较大适应值; \bar{f} 为进化群体的平均适应值。根据此公式可知自适应遗传算法群体中适应度值较高的个体其交叉概率和变异概率较小, 避免了优秀个体的破坏, 从而避免破坏种群的优化性。种群中适应度值较低的个体, 其交叉概率和变异概率较大一些, 较大的交叉概率和变异概率能够使个体进行交叉或变异, 从而可能产生出比上代群体更优的个体, 增加了种群的多样性, 有利于尽快找到最优解。

3 算例比较

分别随机取该热轧钢铁企业的 20 个、50 个不同实际销售合同的数据作为第一组和第二组实验数据。这些销售合同包括多种成品种类, 如方钢、圆钢、角钢、工字钢、乙字钢等, 并且有多种重量要求, 如 500 t、700 t、1000 t、2000 t 等。按照成品种类的不同, 销售合同可以分解成若干生产订单。生产中更换生产的成品种类或达到轧辊轧制吨数极限时必须更换轧辊, 轧制吨数均设定为 1000 t, 换辊时间设定为 2 h。设定设备检修日历: 每周一次小型检修 4 h, 每两周一次大型检修 15 h, 检修可与更换轧辊同时进行。

在此热轧型钢 MES 项目中, 利用 ASP.NET 技术制作了 B/S 模式的生产计划与调度系统, 并且选用了适合大型企业的 Oracle 数据库作为支持。以实

际的生产计划调度系统为运行环境, 采用数据库的数据库语言对四种生产计划排序方法进行编程:

方法 1 按照销售合同中要求的交货日期顺序编制生产计划;

方法 2 按照约束条件调整生产订单的顺序, 如相同成品种类的订单合并生产, 但是生产订单不拆分, 以简单的串行搜索算法进行求解;

方法 3 按照约束条件调整生产订单的顺序, 生产订单依然不拆分, 以传统的遗传算法进行求解;

方法 4 按照约束条件以允许拆分生产订单的形式编制生产计划, 以改进型的遗传算法进行求解, 一个染色体编码描述一个可拆分的订单的生产。

采用以上四种方法分别对第一组 20 个合同、第二组 50 个合同进行生产计划编制的对比数据如表 1、表 2 所示, 其中第三种和第四种方法分别反复进行 10 次, 取平均值。

表 1 四种方法分别对 20 个合同的生产计划编制数据对比
Tab.1 Data contrast 20 of contract production planning

计划编制方法	总生产时间/天	总检修时间/天	换辊/次	延误交货期/次
方法 1	75.2	4.9	69	11
方法 2	60.1	3.9	53	1
方法 3	57.7	3.9	51.6	0.1
方法 4	54.9	3.7	41.1	0

表 2 四种方法分别对 50 个合同的生产计划编制数据对比
Tab.2 Data contrast 50 of contract production planning

计划编制方法	总生产时间/天	总检修时间/天	换辊/次	延误交货期/次
方法 1	208.5	13.4	156	19
方法 2	162.8	11.2	132	3
方法 3	150.3	10.5	129.1	0.1
方法 4	139.1	9.6	114.7	0

由表中数据可明显看出, 利用改进型遗传算法解出的方案, 无论是 20 个合同还是 50 个合同的生产总时间、需要的检修总时间相较于简单的按交货时间顺序排序、不拆分订单的串行搜索排序所需要的时间都要短。相较于传统遗传算法解一般的批调度模型得出的生产计划调度方案, 当合同数量较多时, 可拆分订单的模型及改进型遗传算法就体现出了较大优势。换辊次数的减少也对节约时间、降低能源消耗、减少劳力消耗、降低企业成本起到了很大作用。特别是面向可拆分订单的热轧生产计划调度方案, 基本解决了延误合同约定交货期的问题, 没有

了合同违约金,企业的利润将有很大程度地提高。

另外,虽然染色体拆分遗传算法相较于传统遗传算法在求解过程中更加复杂,使得解的种类大大提升,但是通过图4、图5分别显示的传统遗传算法和改进后的遗传算法收敛图可以明显看出染色体拆分遗传算法不仅求得的解更优于传统算法的解,由于自适应遗传算法交叉、变异概率的加入,使得新算法的收敛性也得到了明显地提高。

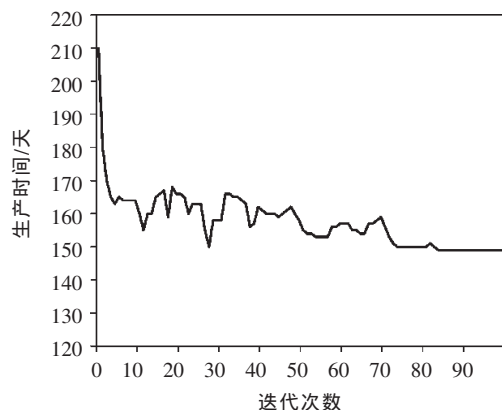


图4 传统遗传算法收敛速度示意图
Fig.4 Ordinary genetic algorithm

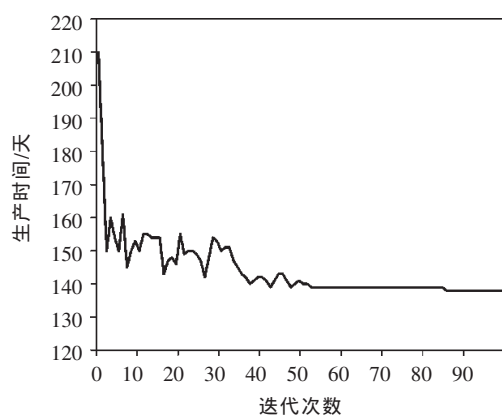


图5 染色体拆分遗传算法收敛速度示意图
Fig.5 Modified detachable chromosomes genetic algorithm

4 结语

本文尝试以实际热轧制造执行系统为依托,参考订单排序的理论研究,针对可拆分订单的排序改进了遗传算法并对可拆分订单的实际钢铁企业的热轧生产计划的编制问题进行了求解,并通过和按

完整订单排序的传统智能搜索算法的横向比较,以及不同数目、不同钢种的订单组合的纵向比较,证明了该种模型以及改进型遗传算法在求解出此类问题的解具有极好的高效性、节能型,如此编制出的生产计划调度方案可以大大降低热轧型钢企业的生产成本。其他的启发式算法,例如粒子群算法、禁忌搜索算法等理论上均可用于此种面向可拆分订单模型的求解,融合这些算法或者改进设计启发式算法来求解可拆分订单排序问题是一个值得进一步研究的问题。

参考文献:

- [1] 黄肖玲,柴天佑.复杂生产过程计划调度级联模型在选矿MES中的应用研究[J].自动化学报,2011,37(9):1130-1139.
- [2] 从力群,毕英杰.打造数字化协同制造企业:MES未来发展的新方向[J].自动化仪表,2010,31(10):1-4.
- [3] 高阳,江资斌.用混合遗传算法求解虚拟企业生产计划[J].控制与决策,2007,22(8):931-934.
- [4] 肖依水,常文兵,张人千.基于模拟退火算法的多节点订单排序模型[J].计算机应用研究,2009,26(2):460-463.
- [5] 李琳,霍佳震.钢管生产计划中的多目标柔性Job-shop调度问题[J].系统工程理论与实践,2012,29(8):117-126.
- [6] 熊福力,严洪森.基于交替迭代遗传算法的多级车间生产计划与调度的集成优化[J].东南大学学报,2012,42(1):183-187.
- [7] 崔雪丽.基于混合遗传算法的车间生产计划调度[J].计算机工程与设计,2011,32(7):2467-2471.
- [8] Pezzella F, Morganti G, Ciaschetti G. A genetic algorithm for the flexible job-shop scheduling problem[J]. Computers & Operations Research, 2008, 35:3202-3212.
- [9] Srinivas M, Patnaik L M. Adaptive probabilities of crossover and mutation in genetic algorithms[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1994, 24(4):656-667.
- [10] 霍满臣,唐立新.面向流程工业的批在线调度问题[J].控制工程,2005,12(6):512-514.
- [11] 许瑞,陈华平,邵浩,等.极小化总完工时间批调度问题的两种蚁群算法[J].计算机集成制造系统,2010,16(6):1255-1264.
- [12] 程八一,陈华平,王栓狮.基于DNA进化算法求解工件尺寸不同的单机批调度问题[J].小型微型计算机系统,2009,30(2):356-360.
- [13] 高知新,李铁克,苏志雄. Memetic算法在板坯排序中的应用[J].计算机工程与应用,2009,45(19):192-194.
- [14] 陈浩,杜斌,黄可为. PESA II算法求解基于PCVRP的热轧批量计划问题[J].控制工程,2011,18(增1):86-88,120.

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告