

供电企业现场作业智能排班(调度)模型及算法^①

吴鑫淼¹, 章坚民^{1,2}, 陈蒙伟¹

¹(杭州电子科技大学 自动化学院, 杭州 310018)

²(浙江创维自动化工程有限公司, 杭州 310012)

摘 要: 现场作业调度一直是电网运营的一个难点, 如何对人力资源进行有效的管理和分配, 是保证电网公司计划任务按时高效完成的基础. 研究了一种基于人工智能的自动人员派发模型及计算系统: 借鉴车间调度理论, 结合遗传算法, 进行人力资源的智能调度, 以实现电力计划任务的最大完工时间最短以及延迟损失最低的优化目标. 最后, 经过算例分析, 证明了模型算法的可行性.

关键词: 电力现场作业; 车间调度; 遗传算法; 调度策略

Model and Algorithm of the Field Intelligent Scheduling for Power Supply Enterprise

WU Xin-Miao¹, ZHANG Jian-Min^{1,2}, CHEN Meng-Wei¹

¹(School of Automation, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

²(Creaway Automation Engineering Co., Ltd., Hangzhou 310012, China)

Abstract: The field scheduling is always a difficult point of power grid operation. How to carry out the management and allocation of human resource effectively is the foundation of power grid corps scheduled tasks to be completed timely and efficiently. This paper introduces a kind of automatic human resource distribution model and computing system based on artificial intelligence: We draw from the Job-shop theory; combine with genetic algorithm to carry out human resource scheduling to achieve the optimization target of the maximum completion time is the shortest and the delayed loss minimum. Finally, through the example analysis to prove the feasibility of the model and algorithm.

Key words: power field operations; job shop scheduling; genetic algorithm; scheduling policy

1 引言

在电力行业中, 很多工作是需要进行现场作业的, 如: 工程建设、抄表、巡线、装表、消缺等等. 如何来分配安排现场作业人员, 使各项工作任务在尽可能的短的时间内, 最大的效率完成, 以保障电力的实时安全供应, 是电力企业工作的重心.

目前对现场人员和作业的主要管理办法是人工的管理方法, 比如: 包干到人或到部门、层层人工调度等. 这种人工管理方法有一定的局限性:

(1)缺乏集中的、全局的管控; (2)管理粗放, 不够细致; 有时出现忙闲不均, 会造成人力资源的浪费; (3)执行过程缺乏监控; (4)现场情况发生变化时, 调整十分困难.

电力企业对运营控制需要落实到每个班组每天的每一件工作上, 需要合理排班和人员及任务调度.

车间调度问题 Job-shop 是学术界的一个热点问题, 一般可分为非柔性设备下的 Job-shop 调度问题和柔性设备下的 Job-shop 调度问题两类^[1,2]. 前者是经典的 Job-shop 问题, 具有较多约束与假设, 后者是对经典 Job-shop 问题的扩展, 在继承前者特征的基础上增加了求解的难度, 即允许某道工序在在多台机器上加工, 一台机器可以加工多种类型的工序^[3]. 显然, 电力现场作业调度更贴近后者.

从目前国内外学者在非柔性设备下得 Job-shop 问题研究成果来看, 车间调度优化的目标主要有: 最大完工时间^[4-8]、工件总流程时间或平均流程时间^[9,10].

① 收稿时间:2012-09-08;收到修改稿时间:2012-10-20

Job-shop 优化调度是复杂的组合优化模型, 对这类模型的求解一般采用智能搜索算法, 如遗传算法、模拟退火算法、禁忌搜索算法、蚁群搜索算法、粒子群搜索算法、混合搜索算法等^[11].

本文借鉴车间调度理论, 针对现场作业多目标优化调度, 构建了以计划任务最大完工时间最短以及延迟损失最低为优化目标的 Job-shop 多目标优化调度模型, 并提出了基于遗传算法的求解算法.

2 现场作业调度系统设计

2.1 问题描述

电力公司安排 n 项现场作业任务, 由 m 个可供调度的作业班组完成. 当人力资源有限的情况下, 无法同时执行所有计划任务, 因此部分任务会被暂时搁置和延迟, 延迟时间越久, 造成的延迟损失也就越大. 优化目标是确定所有作业任务的最佳调度顺序和完工时间, 使得所有任务的最大完工时间最短以及延迟损失最低.

假设: 1. 班组由于人员能力及装备配置不同, 划分为 I、II、III 三个等级. 2. 每项任务按标准作业设计, 但不同等级的班组接受任务时, 其预期完成工时不同. 3. 某些任务具有特殊要求, 因此只能由特定级别的班组完成. 4. 各类标准任务有不同的分类, 按其紧急程度具有不同的优先级. 5. 具体任务计划中, 每次任务只能由那些可获人力资源的班组中选择. 6. 同一时间, 一个班次人员最多只能执行一个任务. 7. 每一班次人员工作时间不能超过法律所规定的约束范围, 即考虑每天工作 8 小时, 每周工作 5 天. 周六、周日视为正常休息天; 每个班组连续工作 5 天, 则该班组将休息 2 天.

2.2 业务建模

业务建模如图 1 所示. 主要分为计划任务(Task)、班组(Group)、标准现场作业事物(Standard Task Commission).

计划任务表中包涵了对任务的编号、优先级划分以及对计划任务的分类. 计划任务的优先级数字越低, 则优先级别就越高, 所产生的延迟损失也往往越大. 同时将计划任务进行类别划分.

班组表中包括班组的编号以及对各组别级别的划分. 班组的级别分为 I 级、II 级、III 级, 等级越高说明班组中工程师在阅历及经验等越丰富. 在处理执行任

务时的效率、可靠程度也较高.

标准现场作业事物表是对任务与班组的一个总结, 写明了对不同类别任务需要对应不同等级的班组来执行, 如假设某项任务属与某类别 A, 只能由等级 II 和等级 III 的班组来执行. 同时也包括了不同班组所对应的预期执行时间.

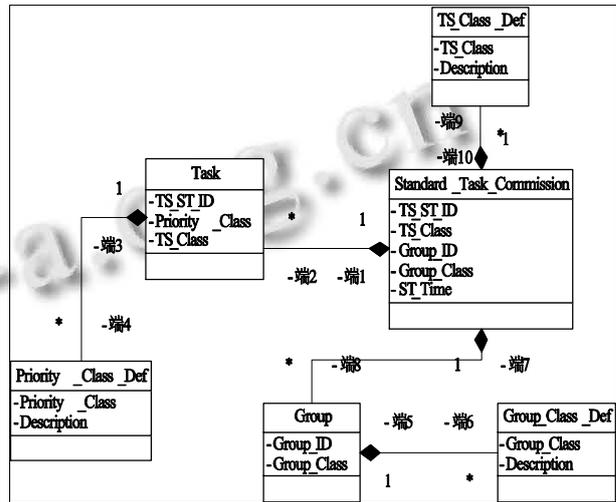


图 1 现场作业业务模型

2.3 优化模型

上述假设问题的实质就是对电力班组人员安排最优的作业顺序, 安排的顺序一旦确定, 则任务计划的开始时间与计划完成时间也即确定. 因此, 对于安排顺序的决策变量, 用 X 表示 $1 \sim nm$ 项可以选择的作业顺序序列(即表 1 中的 Plan_Order 列).

建立适应度函数如下:

$$OPT f(X) = \min(a * T_{max} + b * C) = \min(a * \max(T_l) + b * \sum_{i=1, \dots, m} c_i D_i) \quad (1)$$

T_{max} 为所有任务最大完成时间; T_l 为排班 l 的所有任务完成时间; C 为所有计划任务延迟执行的损失成本; d_i 为计划任务 i 每天的延迟损失; D_i 为计划任务 i 的延迟执行天数. a 、 b 为放大系数. 以 n 项现场作业任务, m 个作业班组的情况, 详细作业参数如表 1 所示. 在约束条件下, 表中 HumanResource_ID 表示所有可供选择的调派方式的编号, TS_ST_ID 表示计划任务编号, Plan_Order 表示作业作业顺序, Group_ID 表示作业班组编号, ST_Time 表示各计划任务对应班组的执行预期时间.

另 T_{he} 为某项任务的最后完工时间, 对其的计算过程如下: 1. 安排顺序为 h 的作业, 由表中取得的所属任

务序号 i , 所分配的班组号 j , 作业任务标准时间 t_{ij} , 顺序 h 的开始时间 T_{hB} ; 2. 如果班组之前未分配任何任务, 则求出任务 i 的完成时间即为 t_{ij} , $T_{hB}=0$; 3. 如果不是, 则求出班组 j 所有已分配作业完工的最大值 T_{hB} ; 4. 按 $T_{hE}=T_{hB}+t_{ij}$ 求出顺序 h 的完工时间. 以此类推, 最后将各班组的完工时间进行比较, 选出最大时间值, 即为本次计划任务的完成时间 T_i .

表 1 现场作业参数

| HumanReso urce_ID | TS_ST _ID | Plan_Order | Group_ID | ST_Time |
|----------------------|--------------|-------------|----------|-------------|
| 1 | 1 | X_{11} | 1 | t_{11} |
| 2 | 1 | X_{12} | 2 | t_{12} |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| r | 1 | X_{1r} | r | t_{1r} |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| $m-1$ | 1 | $X_{1,m-1}$ | $m-1$ | $t_{1,m-1}$ |
| m | 1 | X_{1m} | m | t_{1m} |
| $m+1$ | 2 | X_{21} | 1 | t_{21} |
| $m+2$ | 2 | X_{22} | 2 | t_{22} |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| $nm-1$ | n | $X_{n,m-1}$ | $m-1$ | $t_{n,m-1}$ |
| nm | n | X_{nm} | m | t_{nm} |

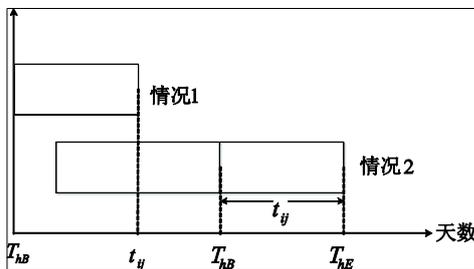


图 2 T_i 计算流程图

3 算法实现

选择求解的遗传算法效法基于自然选择的生物进化, 是一种模仿生物进化过程的随机方法. 从代表问题可能潜在解集的一个种群开始, 而一个种群则由经过基因编码的一定数目的个体组成, 每个个体实际上是带有染色体特征的实体. 初代种群产生之后, 按照适者生存和优胜劣汰的原理, 逐渐演化产生出越来越好的近似解. 算法流程见图 3, 包括三个基本操作: 选择、交叉和变异.

3.1 个体编码

在调度作业的染色体编码方式上为整数编码, 每个染色体表示所有任务的调派完成顺序. 计划任务数

为 n , 则个体表示为 $2n$ 的整数串. 其中染色体的前半部分表示所有计划任务的分配作业顺序, 后半部分表示对应计划任务的班组序号.

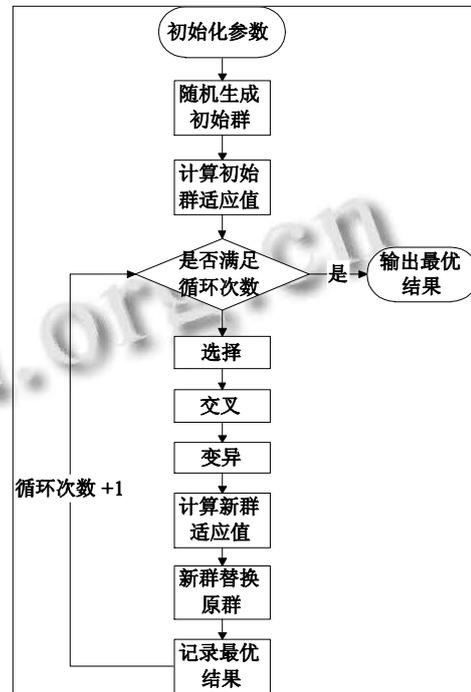


图 3 算法流程

3.2 适应度值

染色体的适应度值为全部任务的完成时间与延迟损失的和, 适应度值计算公式为:

$$fitness(i) = a*time + b*cost \quad (2)$$

其中, $time$ 指全部任务完成时间, $cost$ 指计划任务延迟损失之和, 全部任务完成时间越短, 延迟损失越小, 该染色体越好. a 与 b 与适应度函数(1)中 a 、 b 所示含义相同.

3.3 选择操作

选择操作采用轮盘赌法选择适应度较好的染色体, 个体选择概率为:

$$pi(i) = fitness(i) / \sum_{i=1}^n fitness(i) \quad (3)$$

$$Fitness(i) = 1 / fitness(i) \quad (4)$$

其中, $pi(i)$ 表示染色体 i 在每次选择中被选中的概率.

3.4 交叉操作

种群通过交叉操作获得新染色体, 从而推动整个种群向前进化, 交叉操作采用整数交叉法. 交叉操作首先从种群中随机选取两个染色体, 并取出每个染色

体的前 n 位, 然后随机选择交叉位置进行交叉。

3.5 变异操作

种群通过变异操作获得新的个体, 从而推动整个种群向前进化。变异算子首先从种群中随机选取变异个体, 然后选择变异位置 pos1 和 pos2, 最后把个体中 pos1 和 pos2 的代表的任务序号以及相对应的班组序号相对换。

3.6 具体流程

遗传算法步骤如下:

1). 随机产生初始种群, 个体数目一定, 每个个体表示染色体的基因编码; 2). 计算个体的适应度, 判断是否符合优化准则, 若符合, 输出最佳个体及其代表的最佳解, 并结束计算, 否则进行下一步; 3). 依据适应度选择再生个体, 适应度高的个体被选中的概率高, 适应度低的个体可能被淘汰; 4). 按照一定的交叉概率和交叉方法, 生成新的个体; 5). 按照一定的变异概率和变异方法, 生成新的个体; 6). 由交叉和变异产生新一代的种群, 返回到第二步。

4 算例验证与分析

假设电力作业调度计划任务数为 12, 可用人员班组为 5, 用矩阵 T 来表示各项任务在不同班组执行下的计划时间长度。现场作业班组中划分为 I、II、III 三个等级。

工作时间从 0 开始; T 矩阵的每一行代表作业调度的每一个任务, 数据的第一行表示计划任务 1 由 5 个班组执行所耗费时间分别为 6d、9d、8d、5d 和 7d, 其他每行数据以此类推。由于部分任务能由固定的几个班组来执行, 因此在 T 矩阵中将不能用来执行该任务的班组对应执行时间设定为空, 以排除该种分配方式。以 T 矩阵为依据, 对每项计划任务进行班组的分配调派, 即从 T 矩阵中每行选取一个元素进行排布, 以达到使计划任务的最大完成时间尽可能最优。

$$T = \begin{bmatrix} 6 & 9 & 8 & 5 & 7 \\ 5 & & 5 & 7 & 9 \\ 7 & 4 & 8 & 9 & 6 \\ 3 & 6 & 7 & 8 & 4 \\ 7 & 4 & 5 & 9 & 8 \\ 5 & 7 & 8 & 6 & 4 \\ 5 & 7 & 6 & & 8 \\ 6 & 9 & 7 & 8 & 4 \\ 5 & 7 & 8 & 6 & 3 \\ 3 & 6 & & 7 & 8 \\ 4 & 5 & 7 & 8 & 6 \\ 8 & 7 & 6 & 4 & 9 \end{bmatrix} \quad (5) \quad D = \begin{bmatrix} 5 \\ 7 \\ 8 \\ 6 \\ 3 \\ 6 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

矩阵 D 来表示各项任务在搁置延迟下每天的损失值, 如首项表示为计划任务 1 被搁置时, 每天的延迟损失为 5 万元。其他各项数据以此类推。

用 Matlab 7.11.0 实现了算法。遗传算法参数设定为: 初始种群大小为 50; 交叉率为 0.6; 变异率为 0.3; 最大遗传代数 300; 代沟为 0.8。对目标函数放大系数 a 设为 0.2, b 设为 1。计算时间约为 3 秒。

最优的计算结果表明, 排班天数为 12, 即为 12 个计划任务在 5 组人员的执行下, 可计划在 12 个工作日内完成, 计划的延迟损失为 70 万元。优化曲线如图 4 所示。遗传算法能同时处理群体中的多个个体, 即对搜索空间中的多个解进行评估, 减少了陷入局部最优解的风险, 同时算法本身易于实现并行化。在图 4 中, 最佳适应度函数值在 100 代以前就有收敛的趋势, 而在经过 200 代左右后, 逐渐趋于一个稳定的函数值。在此次优化过程中, 出现了多个“早熟”的收敛值, 所以遗传算法求得结果的精度与个体数目相关, 个体数目越大, 求得结果精度就有可能越高。最优个体对应的任务调派执行甘特图如图 5 所示。

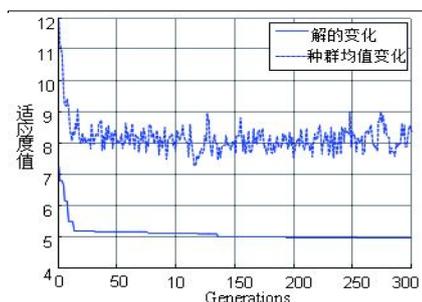


图 4 算法搜索过程

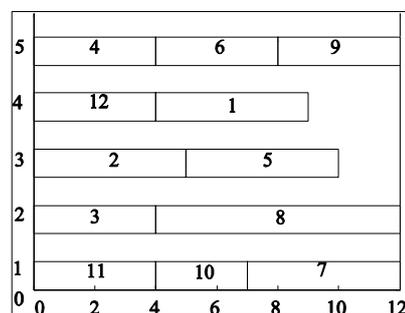


图 5 计划调度甘特图

5 结论

本文提出了一种借鉴 Job-shop 优化调度模型来解决电力现场作业调度问题的方法。模型采用遗传算

法, 根据工作人员经验和能力的不同进行排班调派, 以实现计划任务最大完工时间最短, 以及延迟损失最低的优化目标. 算例表明, 本文提出的一类借鉴 Job-shop 的优化调度方法是正确的和有效的, 具有实现的可行性.

参考文献

- 1 宋晓宇, 孟秋宏, 曹阳. 求解 Job Shop 调度问题的改进禁忌搜索算法. 系统工程与电子技术, 2008, 30(1): 93-96.
- 2 王万良, 赵澄, 熊婧, 等. 基于改进蚁群算法的柔性作业车间调度问题的求解方法. 系统仿真学报, 2008, 20(16): 4326-4329.
- 3 吴秀丽, 孙树栋, 杨展, 翟颖妮. 多目标柔性 Job Shop 调度问题的技术现状和发展趋势. 计算机应用研究, 2007, 24(3): 1-4.
- 4 Eswaramurthy VP, Tamilarasi A. Tabu search strategies for solving job shop scheduling problems. Journal of Advanced Manufacturing Systems, 2007, 6(1): 59-75.
- 5 周辉仁, 郑丕谔, 安小会, 等. 基于遗传算法求解 Job Shop 调度优化的新方法. 系统仿真学报, 2009, 21(11): 3294-3306.
- 6 刘胜辉, 张淑丽, 王波, 等. 单件车间调度问题的改进型病毒进化遗传算法. 电机与控制学报, 2008, 12(2): 234-238.
- 7 赵良辉, 邓飞其. 解决 Job Shop 调度问题的模拟退火算法改进. 计算机工程, 2006, 32(21): 38-40.
- 8 Senthilkumar P, Shahabudeen P. GA based heuristic for the open job shop scheduling problem. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2006, 30(3/4): 297-301.
- 9 Chung-Hsing Y. Minimizing job flow time for job oriented scheduling. International Journal of Industrial Engineering: Theory Applications and Practice, 2003, 10(2): 107-114.
- 10 胡燕海, 严隽琪, 马登哲, 等. 基于智能算法的制造系统通用作业调度方法. 上海交通大学学报, 2008, 42(10): 1608-1612.
- 11 曾强, 杨育, 王小磊, 梁学栋. 一类 Job-shop 多目标优化调度方法. 计算机工程与应用, 2010, 46(23): 215-218.
- 4 International Organization for Standardization. ISO/IEC 18004. Information Technology-Automatic Identification and Data Capture Techniques-Bar Code Symbology: QR Code, 2000.
- 5 仇配亮. 信息论与编码. 北京: 高等教育出版社, 2011. 33-42.
- 6 邓成梁. 运筹学原理和方法. 武汉: 华中理工大学出版社, 1996. 215-217.
- 7 周培德. 算法设计与分析. 北京: 机械工业出版社, 1996. 41-95.
- 8 陈端荣, 谢长生, 裴先登, 肖卫军. 多阶段决策方法用于 6:8 优化映射等重调制码的设计. 计算机学报, 2005, 28(2): 220-226.

(上接第 73 页)