

基于模拟植物生长算法的异速并行机调度 —— 以汽车 4S 店维修车间瓶颈环节调度为例

杨 琴¹, 周国华², 林晶晶²

(1. 四川师范大学 商学院, 成都 610101; 2. 西南交通大学 经济管理学院, 成都 610031)

摘 要 汽车 4S 店维修车间的钣喷设备是整个维修服务系统的瓶颈, 通过对瓶颈的合理调度可以有效地提升系统效率. 首先, 用三元组 $\alpha/\beta/\gamma$ 方法, 将该问题描述为受准备时间和机器适用约束限制的, 以最小化加权滞后时间和为目标的异速并行机调度问题, 建立了对应的数学模型. 接着, 采用模拟植物生长算法求解此类调度问题, 提出了与问题相适应的生长点表示方法和迭代方法. 最后, 通过实例仿真简要分析了模型及算法的可行性和有效性.

关键词 模拟植物生长算法; 异速并行机; 调度; 瓶颈环节

Scheduling of machines in parallel with different speeds based on plant growth simulation algorithm — Taking an example of the bottleneck in 4S auto dealership maintenance shop

YANG Qin¹, ZHOU Guo-hua², LIN Jing-jing²

(1. Business School, Sichuan Normal University, Chengdu 610101, China; 2. School of Economics and Management, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract The sheet-spraying equipment in the 4S auto dealership maintenance shop is the bottleneck in the whole repair service system. It can improve the efficiency of system effectively by making a reasonable scheduling for the bottleneck. Firstly, with the method of triple $\alpha/\beta/\gamma$, the bottleneck scheduling problem is regarded as parallel machines scheduling problem with different speed. It has constraint limits of set-up times and machine apply. And its goal is to minimize the total weight tardiness. Then the model was constructed. Secondly, plant growth simulation algorithm was an available solution to this scheduling problem. The growing point representation and iterative method, which corresponded to this scheduling problem, was proposed. Finally, presented examples prove the feasibility and effectiveness of the algorithm.

Keywords plant growth simulation algorithm; machines in parallel with different speeds; scheduling; bottleneck

1 引言

汽车 4S 店维修车间的钣喷设备是整个维修服务系统的瓶颈 (bottleneck) 环节. 所谓瓶颈是指实际生产能力小于生产负荷的一切资源. 约束理论 (theory of constraints, TOC) 指出瓶颈是制约系统朝着目标前进的主要因素, 决定了整个系统的性能^[1]. 通过对钣喷设备的合理调度可以提高系统效率, 减少客户等待时间, 提升客户满意度, 有利于企业提高服务质量. 但是, 目前在实际应用方面, 各维修车间通常是依据几项因素 (喷漆的颜色、设备的队列是否为空和任务的紧急程度等), 依据经验进行任务调度, 缺乏科学的规划. 汽车 4S 店维修车间钣喷设备的调度问题可以描述为受准备时间和机器适用约束限制的, 以最小化加权滞后时间和为目标的异速并行机调度问题 ($Qm|s_{jk}, M_j|\sum w_j T_j$). 在理论研究方面, 异速并行机调度已经被证明是 NP 难题, 研究主要集中在启发式算法的运用上^[2-7].

收稿日期: 2010-07-28

资助项目: 国家自然科学基金 (70902037); 四川省“十二五”规划 (SC11C042); 四川省教育厅项目 (10ZC004)

作者简介: 杨琴 (1978-), 女, 四川宜宾人, 副教授, 博士, 研究方向: 生产作业计划和优化调度; 周国华 (1966-), 男, 江苏张家港人, 教授, 博士生导师, 研究方向: 生产管理.

20 世纪 60 年代末, Lindenmayer 把乔姆斯基的生成转换语法引入生物学, 以简单的重写规则和分枝规则为基础, 建立了关于植物的描述、分析和发育模拟的形式语法, 称为 L- 系统^[8]. 20 世纪 80 年代中, Prusinkiewicz 等把 L- 系统与计算机图形学、分形学结合起来, 完善了植物生长的分枝模型^[9]. 植物建模研究工作初期多用于处理计算机图形学以及分形学领域的问题. 2005 年, 李彤等^[10]开始将模拟植物生长算法 (plant growth simulation algorithm, PGSA) 用于求解整数规划问题. 由于 PGSA 对参数的确定极为简单和宽松, 得到了广大学者的关注, 已经在设施选址、电力系统优化等工程技术领域得到了有效的应用^[11-16], 还有学者开始尝试运用其处理加工车间调度问题^[17]. 但是, 该算法在生产调度领域针对实际问题的应用研究还很少. 本文通过对汽车维修车间钣喷工序作业过程的分析, 将其看作异速并行机调度问题, 采用基于模拟植物生长算法, 提出与问题相适应的一种生长点表示方法和迭代方法, 对该调度问题进行研究.

2 问题描述及建模

汽车 4S 店是一种以“四位一体”为核心的汽车特许经营模式, 包括整车销售 (sale)、零配件 (spare part)、售后服务 (service)、信息反馈等 (survey) 于一体的销售服务店. 汽车的定期保养或维修形成工作任务. 为满足客户的需要, 4S 店维修车间必须在有限资源条件下, 尽快完成任务. 对瓶颈环节的优化调度可以为其它设备的调度提供依据, 从而控制维修任务, 实现维修资源协调优化和高效运行.

2.1 基本假设

每项任务在瓶颈工位只选择一台设备加工一次; 任一时刻每台设备只加工一项任务; 任务在瓶颈工位开始加工则不允许中断.

2.2 问题描述

研究采用三元组 $\alpha/\beta/\gamma$ 方法, 对汽车 4S 店维修车间钣喷设备的调度问题进行描述.

1) 机器环境 (α 域)

汽车 4S 店维修车间, 包含多个串行工位 (例如: 机电、钣金、钣喷和美容等), 车辆维修保养任务要按照预定的加工顺序进行. 由于其中的钣喷设备 (主要是烤漆房) 价格贵, 任务在该设备上的作业时间长, 设备利用率高, 因此成为系统的瓶颈. 任务在每个工位可从多台机器中选择一台进行作业, 机器的数量可用 m 来度量. 例如: 钣喷工位包含 m 台不同加工速度和性能的烤漆房和小烤灯, 任务只需从中选择一台进行作业.

2) 加工特征和约束 (β 域)

汽车维修保养任务在钣喷工位上具有以下特征和约束: s_{jk}^i (表示设备 i 从完成 k 任务到开始 j 任务所需的时间, 由于不同车辆的车型、颜色等存在差异, 决定了任务间的准备时间不同, 总的准备时间受调度顺序影响)、设备使用限制 M_j (表示任务 j 只能运用设备, 比如烤漆房可以用于所有类型任务, 但加工时间长, 小烤灯加工时间短, 但只适用于小规模的任务)、加工时间 p_j^i (表示运用设备 i 完成任务 j 的时间)、任务预期完成时间 d_j (表示希望任务 j 能在这一时间之前完成) 等.

3) 调度目标 (γ 域)

汽车 4S 店维修车间直接与客户接触, 提供使客户满意的服务是企业经营的关键, 从时间上讲, 就是确保任务的完成时间, 减小滞后. 根据约束理论, 瓶颈环节决定了系统的节奏, 由于非瓶颈环节的加工能力无限大, 只要瓶颈环节满足了工期要求, 系统也就能满足工期要求. 因此, 最小化任务在整个系统的滞后问题可以简化为最下化任务在瓶颈环节的滞后问题.

定理 1 令 X 和 X_b 分别为系统和瓶颈问题的最优解, 则有 $X_b \leq X$.

证明 令 Z 和 Z_b 表示系统和瓶颈问题解的可行域, 通过松弛机器能力约束, 则有 $Z \subseteq Z_b$. 又由于目标函数相同且为最小化问题, 所以 $X_b \leq X$, 即瓶颈调度问题的最优解是系统问题最优解的下界.

滞后可以由公式 $T_j = \max(C_j^i - d_j, 0)$ 度量, 式中 C_j^i 表示按给定的作业排序规则, 任务 j 在瓶颈环节的设备 i 上完成加工的实际时间, T_j 表示任务的滞后时间. 同时, 由于任务本身的紧急程度和客户的重要程度不同, 不同任务的优先级别 (就是权重 w_j) 也存在差异. 所以, 总损失可以度量为 $\sum w_j T_j$, 调度的目标就是最小化 $\sum w_j T_j$.

2.3 优化调度模型设计

综上所述, 汽车 4S 店维修车间钣喷设备的调度问题可描述为 $Qm|s_{jk}, M_j|\sum w_j T_j$, 即受准备时间和机器适用约束限制的, 以最小化加权滞后时间和为目标的异速并行机问题. 用 N 表示任务集合; M 表示瓶颈

设备集合; A 为线路约束 $i, k \rightarrow i, j$ 集合, 它限定设备 i 先用于任务 k , 接着用于任务 j ; $x_{(t)j}^i$ 表示在时间 t , 设备 i 是否开始用于任务 j , 取值有两种情况: $x_{(t)j}^i = \begin{cases} 1, & \text{表示 } t \text{ 时刻, 设备 } i \text{ 开始用于任务 } j, \\ 0, & \text{表示其它情况.} \end{cases}$

问题的数学模型如下:

$$\min \sum_{j=1}^n \omega_j T_j \quad (1)$$

$$\text{s.t. } T_j = \max(C_j^i - d_j, 0), \quad j \in N, i \in M \quad (2)$$

$$C_j^i = (C_k^i + s_{jk}^i + p_j^i) \cdot x_{(t)j}^i, \quad (i, k \rightarrow i, j) \in A \quad (3)$$

$$C_j^i \geq p_j^i, \quad j \in N, i \in M \quad (4)$$

$$\sum_{t=0}^{C_{\max}} \sum_{i=1}^m x_{(t)j}^i = 1, \quad j \in N \quad (5)$$

$$x_{(t)j}^i \in \{0, 1\}, \quad j \in N, i \in M \quad (6)$$

$$\sum_{t=0}^{C_{\max}} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{(t)j}^i = n \quad (7)$$

$$w_j \geq 0, d_j \geq 0, \quad j \in N \quad (8)$$

模型中, 式 (1) 为目标函数, 体现了调度的目标是 minimized 加权滞后时间和. 式 (2)–(8) 为约束条件, 其中式 (2) 度量了任务 j 的延迟时间; 式 (3) 度量了任务 j 使用设备 i 的实际完成时间; 式 (4) 确保任务 j 有足够的加工时间; 式 (5) 保证某一特定任务只能被任意瓶颈设备服务一次, 其中 C_{\max} 表示最后离开系统的任务的完成时间; 式 (6) 给出决策变量的取值范围; 式 (7) 保证在所有任务都有机会开始; 式 (8) 限定权重和预期任务完成时间的取值范围.

3 模拟植物生长算法

模拟植物生长算法是结合植物的自然优化模式, 将植物生长动力学模式应用于优化问题, 进行搜索求解的计算方法. 该算法将优化问题的可行域当作植物的生长环境, 将最优解当作光源, 模拟真实植物的向光性机理 (形态素浓度理论), 建立枝叶在不同光线强度环境下的快速生长演绎方式 (L- 系统)^[10]. 通过建立以生长规则为基础的植物系统演绎方式和以植物向光性理论为基础的概率生长模型, 实现人工植物在优化问题可行域中从初始状态到完整形式的终态 (没有新的树枝生长) 的过程.

3.1 模拟植物的生长演绎方式

PGSA 以 L- 系统作为人工植物的生长演绎方式. 其中生长点即植物生长细胞, 是模拟植物系统每一次生长的位置点. 植物生长过程是在生长点按 $2n$ (n 为变量的维数) 个方向生长并产生新枝, 分枝长度在整数规划情况下设定为 1 (或大于 1 的整数, 非整数规划情况下可根据精度要求选取).

L- 系统仅解决了模拟植物生长的形式化问题, 但是从众多生长点中, 如何确定新生长点中, 以保证树枝向最优解方向蔓延, 这就是植物向光性特点的算法需要实现的问题.

3.2 模拟植物向光性的概率生长模型

植物的向光性问题涉及生物学理论中的形态发生模型. 该模型认为每个细胞都含有一种生长激素, 叫形态素. 形态素的浓度是模型的观察参数, 决定细胞的生长函数是否开始起作用, 即细胞分裂, 新枝芽出现. 在多细胞系统中, 可以把任意一个细胞的形态素浓度记为 p_h [$p_h \in (0, 1)$ ($h = 1, 2, \dots, l$)], 多细胞形成封闭系统, 形态素浓度和恒定 (设定为 1). 当新的生长点产生后, 形态素浓度将根据新系统所在环境的改变, 在多细胞系统重新进行分配, 据此, 植物表现出明显的向光性特点. 模拟这一过程, 设有 l 个初始生长点 a_1, a_2, \dots, a_l , 其形态素浓度为 p_h ($h = 1, 2, \dots, l$), 各生长点形态素浓度值为:

$$p_h = \frac{1/f(a_h)}{\sum_{h=1}^l 1/f(a_h)}, \quad h = 1, 2, \dots, l \quad (9)$$

其中 $f(\cdot)$ 为目标函数值, 以本文为例, $f(a_h) = \sum w_j T_j(a_h)$, 表示对应第 h 种调度方案 a_h 下的加权滞后时间和.

在确定了形态素浓度之后, 就可以建立植物的向光性机制, 即形态素浓度较高的生长点, 将具有较大的优先生长机会, 其算法可描述为: 设有 l 个生长点 (a_1, a_2, \dots, a_l) , 其形态素浓度值为 (p_1, p_2, \dots, p_l) , 且由式 (9) 可知, $\sum_{h=1}^l p_h = 1$. 其概率空间如图 1 所示.

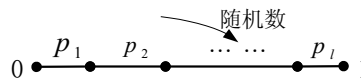


图 1 形态素浓度概率空间

系统不断产生随机数, 这些随机数就象不断向区间 $[0, 1]$ 上投掷的小球, 小球落在 p_1, p_2, \dots, p_l 的某一个概率空间内, 所对应的生长点就得到优先生长的权利. 这个过程反复进行, 模拟植物的树枝按照 L- 系统生长模型在可行域内向最优解快速蔓延, 直至没有新枝的产生为止, 这就是 PGSA.

4 异速并行机调度问题的模拟植物生长算法设计

本文采用模拟植物生长算法求解汽车 4S 店维修车间瓶颈工序 (钣喷设备) 的调度问题, 针对异速并行机调度问题的特征, 设计了生长点的表示方法和迭代方法, 并通过该表示法中参数的大小进行排序, 生成调度方案.

4.1 生长点的表示

异速并行机调度中的生长点 $a_h = (y_{h1}, \dots, D_{h1}, y_{hj}, \dots, D_{hi}, \dots, B_{hi}, \dots, y_{hn}, B_{hm_2})$, 其中: D_{hi} 和 B_{hi} 分别表示瓶颈环节的通用设备 (烤漆房) 和快修设备 (小烤灯), $i = 1, 2, \dots, m_1(m_2)$, m_1 表示烤漆房的数量, m_2 表示小烤灯的数量, $m = m_1 + m_2$. 据此, D_{hi} 和 B_{hi} 将任务分成 m 组, 在 m 台设备上完成任务. D_{hi} 和 B_{hi} 的初始值为 0, 在每台设备上加工的初始任务数量依据机器适用约束随机产生.

y_{hj} 表示一项任务, $j = 1, 2, \dots, n$, n 表示任务的数量. 对 y_{hj} 赋初始值, 随机产生 $(0, 1)$ 的两位小数, 出现重复时, 对其重新赋值, 直至没有重复为止. 依据每组 y_{hj} 值的大小进行任务排序, 对应第 h 种调度方案; 例如:

$$\begin{aligned} a_h &= (y_{h1}, y_{h4}, y_{h7}, y_{h10}, D_{h1}; \quad y_{h2}, y_{h5}, y_{h8}, y_{h11}, B_{h1}; \quad y_{h3}, y_{h6}, y_{h9}, y_{h12}, B_{h2}) \\ &= (0.51, 0.42, 0.86, 0.73, 0; \quad 0.91, 0.16, 0.46, 0.38, 0; \quad 0.21, 0.32, 0.54, 0.29, 0) \end{aligned}$$

则该调度方案为: 在设备 D_{h1} 上的任务排序 4, 1, 10, 7; 在设备 B_{h1} 上的任务排序 5, 11, 8, 2; 在设备 B_{h2} 上的任务排序 3, 12, 6, 9.

4.2 植物生长长度的选取与新生长点的产生

1) D_{hi} 和 B_{hi} 生长长度的选取

在迭代中 D_{hi} 和 B_{hi} 的生长长度 λ 可能出现两种情况, 同时需删除不能满足约束条件的生长.

情况一, 当 D_{hi} 和 B_{hi} 的生长长度为 -1 时, 则生长点表示式中, 对应设备位置左移一个单位, 即: 对应第 i 组 (设备 i) 的加工任务减少一项, 对应第 $i+1$ 组 (设备 $i+1$) 的加工任务增加一项;

情况二, 当 D_{hi} 和 B_{hi} 的生长长度为 1 时, 则生长点表示式中, 对应设备位置右移一个任务单位, 即: 对应第 i 组 (设备 i) 的加工任务增加一项, 对应第 $i+1$ 组 (设备 $i+1$) 的加工任务减少一项.

例如: $a_h = (y_{h1}, y_{h4}, y_{h7}, y_{h10}, D_{h1}; \quad y_{h2}, y_{h5}, y_{h8}, y_{h11}, B_{h1}; \quad y_{h3}, y_{h6}, y_{h9}, y_{h12}, B_{h2})$

当 $\lambda_{D_{h1}} = 1$ 时, $a_h^1 = (y_{h1}, y_{h4}, y_{h7}, y_{h10}, y_{h2}, D_{h1}; \quad y_{h5}, y_{h8}, y_{h11}, B_{h1}; \quad y_{h3}, y_{h6}, y_{h9}, y_{h12}, B_{h2});$

当 $\lambda_{B_{h1}} = -1$ 时, $a_h^2 = (y_{h1}, y_{h4}, y_{h7}, y_{h10}, D_{h1}; \quad y_{h2}, y_{h5}, y_{h8}, B_{h1}; \quad y_{h11}, y_{h3}, y_{h6}, y_{h9}, y_{h12}, B_{h2});$

当 $\lambda_{B_{h2}} = 1$ 时, 由于 B_{h2} 之后已经没有任务, 右移无意义, 不会产生新的生长点; 当 $\lambda_{D_{h1}} = -1$, $\lambda_{B_{h2}} = -1$ 时, 生长点不能满足约束条件, 予以删除. 由此可见, 依据约束条件, 通过对设备参数 D_{hi} 和 B_{hi} 的生长可以产生 $(2m-3)$ 个新的生长点.

2) y_{hj} 生长长度的选取

在迭代过程中 y_{hj} 的生长长度为 1, 对应任务在原值基础上加 1, 然后依据新值的大小对该组任务进行重新排序.

例如: $a_h = (y_{h1}, y_{h4}, y_{h7}, y_{h10}, D_{h1}) = (0.51, 0.42, 0.86, 0.73, 0)$, 表示在设备 D_{h1} 上的任务排序 4, 1, 10, 7;

当 $\lambda_{y_{h1}} = 1$ 时, $a_h^3 = (y_{h1}, y_{h4}, y_{h7}, y_{h10}, D_{h1}) = (1.51, 0.42, 0.86, 0.73, 0)$, 在设备 D_{h1} 上的任务排序更改为 4, 10, 7, 1;

当 $\lambda_{y_{h4}} = 1$ 时, $a_h^4 = (y_{h1}, y_{h4}, y_{h7}, y_{h10}, D_{h1}) = (0.51, 1.42, 0.86, 0.73, 0)$, 在设备 D_{h1} 上的任务排序更改为 10, 7, 1, 4;

当 $\lambda_{y_{h7}} = 1$ 时, 排序保持不变. 由此可见, 每台设备上, y_{hj} 原值最大的任务参数, 即使生长也不会影响该设备上原有作业的排序, 因此通过对任务参数 y_{hj} 的生长可以产生 $(n - m)$ 个新的生长点.

3) 新生长点的产生

根据随机数选择生长点 a_h , 依据各参数 (y_{hj} , D_{hi} 和 B_{hi}) 可行的生长长度, 分别对每个参数进行生长, 同时保持其它各参数不变, 即可得到 $(n + m - 3)$ 个新的生长点. 当新生长点优于原生长点时, 用新生长点中对应目标函数值最小的替代原生长点. 如果新生长点所对应的作业排序与另一生长点 $a_{h'}$ 一致时, 将两个生长点合并, 生长点的数量从 l 变为 $(l - 1)$.

4.3 算法步骤

结合模拟植物向光性的概率生长模型与异速并行机问题特征, 其 PGSA 的迭代步骤如下:

步骤 1 依据设备适用条件限制, 系统随机生成 l 个生长点 a_1, a_2, \dots, a_l ;

步骤 2 求解各生长点形态素浓度 (生长概率), $p_h = \frac{1/\sum w_j T_j(a_h)}{\sum_{h=1}^l 1/\sum w_j T_j(a_h)}$;

步骤 3 根据 Step 2 计算结果建立各生长点在 0-1 之间的概率空间, 以随机数选择本次迭代生长点 a_h ;

步骤 4 确定植物生长长度 λ , 进行系统生长, 产生新生长点. 当新生长点优于原生长点时, 用其中的最优优点替代 a_h ;

步骤 5 若新的生长点均不优于原生长点, 或达到设定迭代次数, 得到全局最优解或局部最优解, 输出结果. 否则转回 Step 2.

5 案例

现模拟汽车 4S 店钣喷设备一天的作业情况, 用 $n \times m[D(m_1), B(m_2)]$ 标志每个组别, 并应用上述方法进行调度, 结合遗传算法 (GA, genetic algorithm) 和粒子群算法 (PSO, particle swarm optimization) 进行比较.

通过现场调研, 对于一个开业期在两年以上, 正常营业的汽车 4S 店维修车间每天需要使用钣喷设备的工作任务数量范围为 [12, 20], 其中可以使用快修设备的任务占任务总数的 50%, 瓶颈资源总量范围为 [3, 6]. 通用设备烤漆房的作业时间 p_j^A 在区间 [1, 3] 中均匀分布, 快修设备小烤灯的作业时间 p_j^B 在区间 [0.5, 1] 中均匀分布; 各项作业的权重在区间 [1, 3] 中正态分布; 准备时间与作业顺序相关, 用 a_j^i 表示任务 j 在资源 i 上的情况, 如果资源 i 上任务 k 在任务 j 之后进行加工, 那么准备时间 $s_{jk}^i = |a_k^i - a_j^i|$, a_j^i 在区间 [0,1] 中均匀分布, 每个资源的初始准备时间都为 0; 为了避免预期完成时间 d_j 设置得过松或者过紧 $d_j = r_j + kp$, p 表示任务在不同可用设备上的平均作业时间, k 在区间 [1, 2] 中均匀分布.

采用文献[18]的评价指标, 定义一组特征相同的问题 S , 令 $I(I \in S)$ 为其中一个实例, $T(H, I)$ 为实例 I 采用启发式算法 H 求得的 $\sum \omega_j T_j$ 值. 则该实例在几种算法下的最优解为 $BEST(I)$, 且 $BEST(I) = \min\{T(H, I)\}$. 据此, 对每类问题 S 可以计算相对性能指标为:

$$\rho(H, S) = \frac{\sum_{I \in S} T(H, I)}{\sum_{I \in S} BEST(I)} \quad (10)$$

对问题 S 采用算法 H 得到的平均 CPU 计算时间为 $ACT(H, S)$, 单位为: 秒 (s), 每组产生 10 个样本. 所有算法均采用 Matlab 编程实现, 运行在奔腾双核, 主频 1.73GHz 的计算机上进行实验仿真, 测试结果如表 1 所示.

表 1 调度性能比较及 CPU 平均计算时间

$n \times m[D(m_1), B(m_2)]$	调度性能参数 $\rho(H, S)$						ACT(H, S)		
	PGSA	GA	PSO	PGSA	GA	PSO	PGSA	GA	PSO
$12 \times 3[A(1), B(2)]$	1.000	1.017	1.004	0.209	0.721	0.472			
$16 \times 3[A(1), B(2)]$	1.000	1.024	1.012	0.252	0.843	0.586			
$16 \times 4[A(2), B(2)]$	1.000	1.028	1.017	0.278	0.952	0.638			
$20 \times 4[A(2), B(2)]$	1.000	1.043	1.038	0.298	1.019	0.671			
$20 \times 6[A(2), B(4)]$	1.000	1.051	1.042	0.339	1.255	0.761			

由表上数据可得到以下结论: ①相对于遗传算法和粒子群算法, 模拟植物生长算法的仿真结果在性能参数和计算时间上都显著优越. ②随问题规模的增大, 模拟植物生长算法指标性能的优越性更为明显.

6 结论

汽车维修服务站中钣喷设备的实时调度, 是异速并行机调度理论的应用研究. 针对当前企业中调度缺乏科学规划, 导致较长的客户等待时间和较低的设备利用率的问题, 结合模拟植物生长算法, 对这一实际问题进行了研究. 分析了问题的特征, 建立了对应的优化调度模型, 运用基于模拟植物生长算法实现了问题求解. 最后, 以实例分析验证了算法的可行性, 通过对比分析展示了所用算法在优化目标函数值上的优越性.

参考文献

- [1] Goldratt E M, Cox J. The Goal: A Process of Ongoing Improvement[M]. Croton-on-Hudson, NY: North River Press, 1984.
- [2] 刘民, 吴澄, 尹文君. 带特殊工艺约束的并行机器生产线调度问题的一种遗传算法 [J]. 自动化学报, 2001, 27(3): 381-386.
Liu M, Wu C, Yin W J. Solving identical parallel machine production line scheduling problem with special procedure constraint by genetic algorithm[J]. Acta Automatica Sinica, 2001, 27(3): 381-386.
- [3] 刘志雄, 王少梅. 基于粒子群算法的并行多机调度问题研究 [J]. 计算机集成制造系统, 2006, 12(2): 183-187.
Liu Z X, Wang S M. Research on parallel machines scheduling problem based on particle swarm optimization algorithm[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2006, 12(2): 183-187.
- [4] Sheen G J, Liao L W. Scheduling machine-dependent jobs to minimize lateness on machines with identical speed under availability constraints[J]. Computers & Operations Research, 2007, 34(8): 2266-2278.
- [5] Ruiz-Torres A J, López F J, Ho J C. Scheduling uniform parallel machines subject to a secondary resource to minimize the number of tardy jobs[J]. European Journal of Operational Research, 2007, 179(2): 302-315.
- [6] Al-Anzi F S, Allahverdi A. A self-adaptive differential evolution heuristic for two-stage assembly scheduling problem to minimize maximum lateness with setup times[J]. European Journal of Operational Research, 2007, 182(1): 80-94.
- [7] Hendizadeh S H, Faramarzi H, Mansouri S A, et al. Meta-heuristics for scheduling a flowline manufacturing cell with sequence dependent family setup times[J]. International Journal of Production Economics, 2008, 111(2): 593-605.
- [8] 王东生, 曹磊. 混沌、分形及其应用 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1995.
Wang D S, Cao L. Chaos, Fractal and Their Applications[M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 1995.
- [9] 苗东升. 系统科学精要 [M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1998.
Miao D S. The Soul of System Science[M]. Beijing: Renmin University of China Press, 1998.
- [10] 李彤, 王春峰, 王文波, 等. 求解整数规划的一种仿生类全局优化算法 —— 模拟植物生长算法 [J]. 系统工程理论与实践, 2005, 25(1): 76-85.
Li T, Wang C F, Wang W B, et al. A global optimization bionics algorithm for solving integer programming — Plant growth simulation algorithm[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2005, 25(1): 76-85.
- [11] 李彤, 王众托. 模拟植物生长算法在设施选址问题中的应用 [J]. 系统工程理论与实践, 2008, 28(12): 107-115.
Li T, Wang Z T. Application of plant growth simulation algorithm on solving Facility location problem[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2008, 28(12): 107-115.
- [12] 李彤, 王众托. 模拟植物生长算法与知识创新的几点思考 [J]. 管理科学学报, 2010, 13(3): 87-96.
Li T, Wang Z T. Plant growth simulation algorithm and the thinking in knowledge innovation [J]. Journal of Management Sciences in China, 2010, 13(3): 87-96.
- [13] Guney K, Durmus A, Basbug S. A plant growth simulation algorithm for pattern nulling of linear antenna arrays by amplitude control[J]. Progress In Electromagnetics Research B, 2009(17): 69-84.
- [14] Rao R S, Narasimham S V L. Optimal capacitor placement in a radial distribution system using plant growth simulation algorithm[J]. International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2011, 33(5): 1133-1139.
- [15] Wang C H, Cheng H Z. Transmission network optimal planning based on plant growth simulation algorithm[J]. European Transactions on Electrical Power, 2009, 19(2): 291-301.
- [16] Cai W, Yang W W, Chen X Q. A global optimization algorithm based on plant growth theory: Plant growth optimization[J]. Intelligent Computation Technology and Automation, 2008, 1: 1194-1199.
- [17] Tang H B, Ye C M. Application of plant growth simulation algorithm for job shop scheduling[C]// 2010 IEEE International Conference on Advanced Management Science (ICAMS), Chengdu, 2010: 568-572.
- [18] Demirkol E, Mehta S V, Uzsoy R. A computational study of shifting bottleneck procedures for shop scheduling problems[J]. Journal of Heuristics, 1997, 3(2): 111-137.