

基于粒子群算法的车间作业调度问题

李小华, 熊禾根

(武汉科技大学机械自动化学院, 武汉 430081)

摘要: 通过对车间调度问题的描述, 针对传统算法寻优效率低的弱点, 提出了一种基于粒子群算法的车间作业调度问题的解决方案。对粒子群算法的基本原理进行了阐述, 并对粒子群算法的编码、参数的选择以及解码进行了研究, 以最小化最大流程时间作为评价算法的性能指标, 将其用于编程求解典型调度问题。仿真结果表明, 粒子群算法在求解车间作业调度的应用上是十分有效的。

关键词: 车间调度; 粒子群算法; 智能优化算法

Job shop scheduling problem based on particle swarm optimization

LI Xiao-hua, XIONG He-gen

(College of Machinery and Automation, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China)

Abstract: Considering the conventional algorithms' low efficiency of searching for optimizing in job shop scheduling problems, the job shop scheduling solution is presented based on particle swarm optimization algorithm. In this paper, the basic theory of particle swarm optimization is described, also, the coding and selection of parameters as well as the decoding of PSO are studied. It uses the maximum flow time which being minimized to evaluate performance of the algorithm, and applies it to solve a typical scheduling problem. The simulation results show that PSO applied in solving job-shop scheduling is very effective.

Key words: job-shop scheduling; particle swarm optimization (PSO); intelligence optimization algorithms

0 引言

车间作业调度问题(Job-shop Scheduling Problem, JSP)是一类典型的生产调度问题, 具有很强的工程背景, 许多实际工程问题均可与之相转化。同时, Job Shop 调度问题也是非常难解的 NP-hard 问题, 因此开发求解 Job Shop 调度问题的有效算法一直是调度 and 优化领域的重要课题。目前, 研究 Job Shop 调度问题的方法包括传统运筹学方法、启发式算法、神经网络、模糊理论、拉格朗日松弛法、禁忌搜索、模拟退火、遗传算法和混合算法等。

虽然对于车间调度问题的研究已经有几十年的历史, 提出了许多最优化求解方法, 但由于其本身的复杂性, 至今尚未形成系统的理论与方法。如何寻求有效可行的调度求解方案, 一直是数学优化和人工智能领域的研究难点。车间调度问题正朝着进一

步实用化、探索新的调度算法方向发展。

1 车间调度问题描述

生产调度, 即对生产过程进行作业计划, 作为一个关键模块, 是整个先进生产制造系统实现管理技术、运筹技术、优化技术、自动化技术与计算机技术发展的核心。有效的调度方法和优化技术的研究与应用, 是实现先进制造生产和提高生产效益的基础和关键。调度问题通常是指对生产过程的作业计划, 就生产方式而言, 调度问题可分为开环调度和闭环调度。

典型的 Job Shop 调度问题可描述为: n 个工件在 m 台机器上加工, 事先给定各工件在各台机器上

收稿日期: 2008-12-29

基金项目: 湖北省重点实验室开放基金项目资助(200703B)

作者简介: 李小华(1983-), 男, 硕士研究生, 主要从事机械设计、生产调度方面的研究。

的加工顺序,并且各工件在各机器上的操作时间已知,要求确定各机器上所有工件的加工次序,以使某些加工性能指标(如总加工时间)最优^[1]。

在典型的 Job Shop 调度问题中,除技术约束外,通常还假定以下条件:

- (1)整个加工过程中,每个工序不能在同一台机器上加工多次(至多一次);
- (2)每个工件利用每台机器的顺序可以不同;
- (3)每个工件必须按工艺路线以指定的次序在机器上加工;
- (4)任何工件没有抢先加工的优先权,即不考虑工件加工的优先权;
- (5)操作允许等待,即前一个操作未完成,则后面的操作需要等待。

2 粒子群算法

2.1 概述

粒子群优化算法(Particle swarm optimization,简称 PSO)是由 Kennedy 博士和 Eberhart 博士于 1995 年提出的源于群智能的一种智能优化算法^[2]。PSO 是一种基于种群的随机迭代算法,该算法通过跟踪粒子个体极值和邻域极值动态实现解的迭代更新。与进化算法比较,PSO 保留了基于种群的全局搜索策略,所采用的速度一位移迭代模型,具有计算复杂度低、收敛速度较快、收敛稳定性高等优点。

粒子群优化算法发展至今,主要经历了惯性权重模型、收敛因子模型及带邻域操作的模型等。其中惯性权重模型可有效协调全局搜索和局部搜索,成为最常用的 PSO 算法模型。基于该模型的 PSO 算法的基本步骤如下:

- (1)对每个粒子初始化,设定粒子数 n ,随机产生 n 个初始解或给出 n 个初始解,随机产生 n 个初始速度;
- (2)根据目标函数,计算每个微粒的适应值;
- (3)对于每个微粒,将其适应值与所经历过的最好位置 P_i 的适应值进行比较,若较好,则将其作为当前的最好位置;
- (4)对每个微粒,将其适应值与全局所经历的最好位置的适应值 P_g 进行比较,若较好,则将其作为当前的全局最好位置;
- (5)根据下列进化方程对微粒的速度和位置进行更新;

$$\begin{aligned} V_i(t+1) &= \omega V_i(t) + c_1 r_1 (P_i(t) - X_i(t)) + \\ & c_2 r_2 (P_g(t) - X_i(t)) \\ X_i(t+1) &= X_i(t) + V_i(t+1) \end{aligned}$$

式中:

V_i —第 i 个粒子在解空间的速度;

ω —惯性权重,控制前一次迭代产生的粒子速度对本次迭代速度的影响;

c_1, c_2 —学习因子,通常 $c_1 = c_2 = 2$;

$r_1, r_2 \sim U(0, 1)$,为两个相互独立的随机函数;

X_i —第 i 个粒子在解空间中的位置;

P_i —个体极值,是单个粒子从搜索初始到当前迭代所对应的适应度最优的解变量;

P_g —全局极值,粒子对应的邻域种群从搜索初始到当前迭代所对应的适应度最优的解变量。

(6)判断是否达到优化的中止条件,如果是,就结束优化,否则,返回步骤(2)。中止迭代条件通常是足够好的适应值或者设定一个最大优化迭代次数^[3]。

2.2 个体编码

编码问题是设计算法的首要的关键问题。粒子群算法最初是用于解决连续性函数优化问题的。车间作业调度问题具有离散、动态和多变量等多种属性,针对车间作业排序问题,粒子群算法编码具有一定的难度,很难确定一个自然表达。

采用基于工序的表达方法进行编码^[4],把排序编码作为工序的序列,每一个粒子代表一种排序方案。将所有同一工件的工序指定为工件标号,则粒子中的每一个元素对应的是工件标号,然后根据工件标号在序列中出现的顺序确定该工件的工序。

例如,在一个 3×3 的机器调度问题中一个粒子为(213122313),因为每个作业包含 3 个操作,因此作业号重复出现 3 次。在这里,粒子的第 1 个基因 1 表示作业 1 的第 1 个操作,因为是 1 的第一次出现,第 4 个基因表示作业 1 的第二个操作,依此类推。

2.3 粒子群优化的参数选择^[5]

粒子种群数:一般选取 20—40。

惯性权重:较大的惯性权重值有利于跳出局部极小点,而较小的惯性权重有利于算法收敛,因此可采用自适应调整惯性权重的策略。惯性权重 ω 满足

$$\omega(t) = 0.9 - \frac{t}{\text{MaxNumber}} \times 0.5$$

其中, MaxNumber 为最大截止代数, 这样, 将惯性权重看作迭代次数的函数, 可从 0.9 到 0.4 线性减少。

学习因子: 自身因素参数 c_1 和社会因素参数 c_2 一般要根据经验值来定。在函数优化问题中通常等于 2。不过也有其它的取值。但是一般取 $c_1 = c_2$, 并且范围在 0 和 4 之间。

2.4 适应值函数

现在最常用的 JSP 的目标函数是最大完成时间 C_{max} (makespan) 的最小值。在数学上, JSP 是为了寻求这样一个调度:

$$\text{Min}(T(JM)) = \min(\max[T(1), T(2), \dots, T(i), \dots, T(m)])$$

其中, $T[i]$ 是机器 i 上的最终完成时间, $T(JM)$ 是所有作业的最终完成时间。

粒子的适应度用下面的公式评估:

$$f = 100 \times \text{opt} / T_i(JM)$$

其中 opt 为目前已知的最优解。

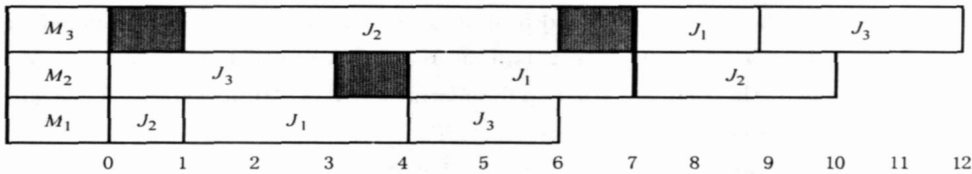


图 1 3 工件 3 机器的面向机器的甘特图

3 仿真结果

采用上述模型和算法, 对典型的 FT10 问题进行作业调度, 每个工件分别在 10 台机器上各加工一次。实例的任务在参考文献[6]中用神经网络方法调度后, 最大完工时间为 465s; 在参考文献[7]中用遗传算法调度后, 最大完工时间为 560s; 在参考文献[8]中用改进的加工效率函数的调度算法, 最大完工时间为 450s; 用本文的方法调度后, 最大完工时间为 440s, 研究结果验证了该算法的可行性和优越性。

4 结束语

车间作业调度理论是制造系统与组合优化领域的重要研究方向, 也是实际生产急需解决的课题。基于 PSO 的车间调度问题的解决方案, 是利用粒子群算法本身的优越性解决复杂的车间作业排序问题, 其搜索效率远远高于其他算法。仿真实例将 PSO 算法应用于求解典型的 JSP 问题, 调度结果显示了它具有良好的调度效果, 证明了其有效性。

2.5 解码

例如, 各工件各道工序对应的机器号和加工时间如表 1, 括号内为在各台机器上的加工时间。

表 1 一个 3 工件 3 机器 JSP 的加工数据

工件号	工序 1	工序 2	工序 3
J ₁	M ₁ (3)	M ₂ (3)	M ₃ (2)
J ₂	M ₁ (1)	M ₃ (5)	M ₂ (3)
J ₃	M ₂ (3)	M ₁ (2)	M ₃ (3)

假设根据上述 3×3Job Shop 调度问题所产生的一个粒子为 (213122313), 由此可知:

机器 1 加工的工件及顺序: 工件 2 的第 1 道工序, 工件 1 的第 1 道工序, 工件 3 的第 2 道工序; 机器 2 加工的工件及顺序: 工件 3 的第 1 道工序, 工件 1 的第 2 道工序, 工件 2 的第 3 道工序; 机器 3 加工的工件及顺序: 工件 2 的第 2 道工序, 工件 1 的第 3 道工序, 工件 3 的第 3 道工序。根据此粒子所得的时间进度合成图如图 1 所示, 其对应的最小完成时间为 12。

参考文献:

[1] 王凌. 车间调度及其遗传算法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.

[2] Eberhart R C, Kennedy J. A new optimizer using particle swarm theory [C] //Proceedings on 6th International Symposium on Micromachine and Human Science. Nagoya: IEEE, 1995; 39-43.

[3] 高尚, 杨靖宇. 群智能算法及其应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006/

[4] 玄光男, 程润伟. 遗传算法与工程设计[M]. 汪定伟, 唐加福, 黄敏, 译. 北京: 科学出版社, 2000; 143-144.

[5] 曾建潮, 介婧, 崔志华. 微粒群算法[M]. 北京: 科学出版社, 2004.

[6] 张长水, 阎平凡. 解 Job-shop 调度问题的神经网络方法[J]. 自动化学报, 1995 21(6): 706-712.

[7] 阎平凡, 张长水. 人工神经网络与模拟进化计算[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.

[8] 范路桥, 常会友, 朱旭东. 一种改进的作业车间调度算法及其实现[J]. 计算机集成制造系统, 2005, 11(5): 673-677.

责任编辑: 李光辉