

改进粒子群算法在作业车间调度问题中的应用

常桂娟

(青岛农业大学 理学院, 山东 青岛 266109)

摘要:调度问题是一类典型的 NP-hard问题,传统粒子群优化算法在解决该类问题上具有一定的局限性.通过分析其优化机理,提出了改进粒子群算法,结合了粒子群优化算法的全局搜索能力和交换粒子位置的局部搜索能力,提出了新的粒子编码方法——基于粒子坐标值排列编码(PPP),发展了一种快速、易实现的新的混合启发式算法.大量实验仿真结果表明本算法可以有效求解作业车间调度问题,通过与遗传算法比较,验证了改进粒子群算法是求解 Job-shop 调度问题可行而高效的方法.

关键词:粒子群优化; 作业车间调度; 混合优化

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8395(2009)01-0139-04

0 引言

粒子群优化算法(PSO)是一种基于群体智能理论的优化算法,由 J. Kennedy和 R. Eberhart^[1]在 1995年提出的,该算法通过模拟鸟类群体调整自身飞行速度和飞行方向,将所有个体移动到适应度好的环境中,从而抽象出一种可以求解具有复杂解空间性质问题的优化算法.同时在进化过程中该算法保留位置与速度上的信息,由于其概念和参数调整简单而且容易编程实现,它既保持传统进化算法深刻的群体智慧背景,同时又有自己许多良好的优化性能.因此,PSO算法一经提出,立刻引起进化计算领域学者们的广泛关注^[2-5].

传统粒子群算法的早期应用是在连续函数优化问题上展开的,其优化性能通过大量的实验已得到证实.此外,粒子群算法还被应用于神经网络的训练、混合整数非线性优化问题、整数规划问题、带约束函数优化等问题的求解.在粒子群算法中,粒子的位置和速度均以连续参数形式表示,这种连续实数域中的位置-速度计算模型限制了粒子群算法在离散组合优化问题领域的应用.从查阅的国内外文献看,近两三年粒子群算法才开始被应用于求解组合优化问题,由于组合优化问题求解的困难性,相关文献较少,主要涉及旅行商问题(TSP)和车辆路径优化问题(VRP)等.近几年,国内一些用粒子群算法解决车间调度问题的文献也开始陆续出现,

其中有夏蔚军等^[3]提出的微粒群算法与模拟退火算法结合的混合启发式算法.彭传勇等^[4]提出的利用遗传算法交叉变异操作的思想,将粒子群算法与禁忌搜索相结合的广义粒子群优化算法.

作业车间调度问题是典型的组合优化问题,求解该类问题的方法很多.目前常用的方法主要有遗传算法、禁忌搜索、模拟退火等近似求解方法及这些方法的混合算法^[6-7].本文通过分析传统粒子群算法的优化机理,提出了一种基于粒子坐标值排列编码的改进粒子群优化模型,并以此模型为基础构建了适合 JSP求解的改进粒子群优化算法.该算法与已有的其它 JSP求解方法遗传算法相比,在收敛精度上有了较大的提高.仿真结果也表明了该算法的可行性和有效性.并且算法在 JSP问题上的成功应用也为粒子群算法在其它离散问题领域的应用拓展了思路.

1 Job-shop问题的简单描述

JSP问题可简单描述为有 n 个工件在 m 台机器上加工,每个工件包含 m 个工序.加工过程中要满足:(1)每个时刻每台机器只能加工一个工件,且每个工件只能被一台机器加工;(2)工序一旦开始,中途不能被打断;(3)每个工件在同一台机器上最多加工一次;(4)每个工件必须按照工艺路线加工.本文性能指标即适应度函数定为总工期最短.

收稿日期:2007-09-25

基金项目:国家自然科学基金(70671057)和教育部高等学校博士点专项科研基金(20051065002)资助项目

作者简介:常桂娟(1976-),女,博士生,主要从事供应链管理、生产调度、遗传算法、微粒群算法的研究

2 粒子群算法描述

在 n 维空间中有 N 个粒子, 每个粒子的坐标为 $X_i = (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in})$, 并具有与优化目标函数相关的适应度 Fit , 同时每个粒子具有各自的速度 $V_i = (V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{in})$. 对于粒子 i 所经历过的历史最好位置记为 $P_i = (P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{in})$, 也称为 p_{best} . 群体所有粒子经历过的最好位置表示为 $P_g = (P_{g1}, P_{g2}, \dots, P_{gn})$, 也称为 g_{best} . 粒子群算法描述如下:

$$V_{id}(t+1) = W V_{id}(t) + c_1 r_1 (P_{id}(t) - X_{id}(t)) + c_2 r_2 (P_{gd}(t) - X_{id}(t)), \quad (1)$$

$$X_{id}(t+1) = X_{id}(t) + V_{id}(t+1), \quad (2)$$

如果 $V_{id} > V_{\max}$, 则 $V_{id} = V_{\max}$;

如果 $V_{id} < -V_{\max}$, 则 $V_{id} = -V_{\max}$.

利用上述两式计算第 $t+1$ 代第 i 维的速度和位置. 式中下标 d 表示粒子的维度, i 指第 i 个粒子, W 是惯性权值, c_1, c_2 都是正的常数, 称为加速系数, r_1, r_2 是两个在 $[0, 1]$ 范围内变化的随机数. V_{\max} 是常数, 限制了速度的最大值. 当 V_{\max} 较大时, 粒子的飞行速度大, 有利于全局搜索, 但有可能飞过最优解; 若较小, 粒子可以在较小的区域内进行局部精细搜索, 但易陷入局部最优.

粒子群算法流程如下:

(1) 初始化一群粒子, 随机产生每个粒子的位置和速度;

(2) 评价每个粒子的适应度;

(3) 对于每个粒子, 将其适应度值与自身 p_{best} 比较, 如果优于 p_{best} , 则将当前值设为该粒子的 p_{best} ;

(4) 对于全体粒子, 将当前最优适应度值与 g_{best} 比较, 如果优于 g_{best} , 则将当前最优适应度值设为群体 g_{best} ;

(5) 由 (1) 和 (2) 式计算每个粒子的新速度和位置;

(6) 如未达到终止条件, 则返回第二步.

3 改进粒子群算法 (IPSO)

3.1 编码 在传统的粒子群算法中, 粒子的位置和速度均以连续参数形式表示, 这种连续实数域中的位置-速度计算模型限制了粒子群算法在离散组合优化问题领域的应用. 针对这一问题, 本文提出了一种新的 PPP 编码方法, 即基于粒子坐标位置排

列编码. 这种编码方法成功的将解决连续优化问题的粒子群算法应用到 JSP 这种离散问题当中, 操作简单、易于实现.

例如, 对于 3 个工件 3 台机器加工的排序问题, 表 1 给出了粒子的位置对应 JSP 问题解的表达形式. 表 1 中, 粒子位置中最小的坐标值对应数字 1, 倒数第二的坐标值对应数字 2, 依此类推. 如表 1, 根据粒子位置, 我们得到这样一组排列 $X = (7 \ 6 \ 3 \ 9 \ 1 \ 2 \ 8 \ 4 \ 5)$. 这种解的表示方法使得粒子中每一位置坐标对应一个工件的一个工序, 由此可以得到工件序列 (3 2 1 3 1 1 3 2 2). 序列中第二个 3 表示工件 3 的第二个工序, 第一个 1 表示工件 1 的第一个工序, 等等. 这样, 可以满足每个工件工序的优先约束.

3.2 粒子的局部搜索 粒子在进化过程中, 为避免陷入局部最优解, 本文采用了简单但有效的局部搜索机制, 对全局最优粒子随机产生两个位置, 交换两个位置的坐标, 若所得粒子适应度值优于原来粒子, 则替换原来粒子, 终止程序; 否则, 继续运行, 直到到达终止条件为止.

3.3 惯性权重与加速系数 在粒子群优化算法中, 惯性权重 W 是关系到 PSO 算法搜索能力的重要参数, 将 W 从相对较大的值线性地减小到相对较小的值, 使 PSO 算法在开始时具有很强的全局搜索能力而在算法接近结束时具有更好的局部搜索能力, 计算公式为

$$W = W_{\max} - \frac{W_{\max} - W_{\min}}{N_{\max}} N,$$

其中, W_{\max}, W_{\min} 为惯性权重的初始值和最终值, N_{\max} 为最大迭代次数, N 为当前迭代次数. 在本文的计算实例中, $W_{\max} = 1.2, W_{\min} = 0.4$. 加速系数 c_1, c_2 根据经验均选取 2.

4 改进粒子群算法流程 (IPSO)

步骤 1 设定参数. 通过对问题及解的特性进行分析和了解, 设定粒子群体规模, 最大迭代次数.

步骤 2 产生粒子群. 采用随机产生粒子的位置和速度的方法初始化粒子群. 初始粒子的坐标值和速度值限制在 -4 与 4 之间.

步骤 3 评价粒子. 利用本文提出的编码方法给每个粒子进行编码, 计算粒子的适应度值, 并记录全局最优粒子 g_{best} 及个体最优粒子 p_{best} .

步骤 4 局部寻优. 对全局最优粒子进行如 3.2

中所述的局部寻优操作.将得到的粒子作为全局最优粒子.

步骤 5 利用改进粒子群 (IPSO)算法优化粒子群.对 N 个粒子利用粒子群优化 (1)和 (2)式产生新一代粒子群的位置及速度,并对全局最优粒子和个体最优粒子进行更新.

步骤 6 判断满足的终止条件.满足最大迭代次数则输出最优适应度函数值并终止;否则,返回步骤 4.

5 仿真结果

下面选择了不同维数 $n \times n$ 的标准算例来说明

表 1 JSP问题中的粒子表示
Table 1 Particle presentation of JSP problem

粒子维数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
粒子位置	2.40	1.71	-0.89	3.10	-2.34	-1.20	2.45	0.26	1.20
工件排列	7	6	3	9	1	2	8	4	5

表 2 IPSO算法与 GA算法求解 FT06问题仿真结果比较
Table 2 The comparison of algorithms IPSO and GA for FT06 problem

算法名称	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	最好解	平均解	最优解出现的次数	最差解
IPSO算法	55	57	55	56	57	57	55	55	58	55	55	56	5	58
GA算法	58	58	62	60	59	58	59	58	60	58	58	59	0	62

对于较大规模的算例,本文算法同样表现出了良好的收敛性能.保持参数不变,分别用本文算法及遗传算法对 LA类问题中几个不同规模的算例进行了计算机仿真.仿真结果显示本文算法明显优于 GA算法.其中,这些标准算例在规定迭代次数内都得到了其最优解,而 GA算法只对其中几个算例得到最优解.对其中的 LA05、LA10、LA14问题,本文算法表现出了强收敛性,基本每次仿真均可快速收敛到最优解.对其它算例,若扩大种群规模和进化代数,仿真结果还会得到进一步改善.表 3记录了仿真 10次的实验数据.

图 1给出了对 LA05、LA10、LA14问题的仿真图,横坐标表示迭代次数,纵坐标表示最优解.由图可见,IPSO算法对这类问题表现了良好的收敛性能及收敛速度.3次实验,均仿真一次,每次都很快

改进粒子群优化算法的有效性.本文用 MATLAB 语言编程,对于上述设计的算子,表 2的 FT06算例是引自文 [8]中的标准算例;LA01-LA15是引自 S Lawrence^[9]的算例.种群规模设为微粒维数的 2倍,进化代数为 100代.先以 FT06问题为例来说明其收敛性,另外给出了使用基于优先权编码两点交叉的标准遗传算法的仿真数据,仿真 10次结果如表 2所示.

该算例为 6个工件 6台机器的调度问题,最优解为 55,通过两个算法的仿真结果比较,体现了 IPSO算法解决这类问题的优越性.

表 3 IPSO算法和 GA算法求解 LA类若干问题仿真结果
Table 3 The comparison of algorithms IPSO and GA for LA problems

编号	算例 (规模)	最优解	最好解 IPSO/GA	平均值 IPSO/GA
1	LA01 (10 \times 5)	666	666/678	680/705
2	LA02 (10 \times 5)	655	655/689	679/723
3	LA03 (10 \times 5)	597	597/635	621/655
4	LA04 (10 \times 5)	590	590/638	610/641
5	LA05 (10 \times 5)	593	593/593	593/598
6	LA06 (15 \times 5)	926	926/930	933/956
7	LA07 (15 \times 5)	890	890/946	910/996
8	LA08 (15 \times 5)	863	863/923	883/957
9	LA09 (15 \times 5)	951	951/951	967/991
10	LA10 (15 \times 5)	958	958/958	958/967
11	LA11 (20 \times 5)	1 222	1 222/1 277	1 238/1 312
12	LA12 (20 \times 5)	1 039	1 039/1 079	1 049 /1 120
13	LA13 (20 \times 5)	1 150	1 150/1 198	1 161/1 237
14	LA14 (20 \times 5)	1 292	1 292/1 292	1 292/1 299

的速度收敛到了最优解。

6 结语

本文提出了一种基于粒子坐标值排列编码的改进粒子群算法,算法中结合粒子群算法的全局搜索能力和交换粒子位置的局部搜索能力,将解决连续优化问题的标准粒子群优化算法成功应用于Job-shop调度问题中,为解决生产调度问题提供了一个高速有效的寻优算法。通过对不同维数的标准算例进行计算机仿真,实验结果令人满意,表明本文提出算法的有效性。将这种改进粒子群算法应用于其它调度问题是作者下一步的研究方向。

致谢 感谢青岛农业大学高层次人才启动基金项目(630806)的资助。

参考文献

- [1] Kennedy J, Eberhart R. Particle Swarm Optimization[C]// IEEE International Conference on Neural Networks. New Jersey: Piscataway, 1995: 1942-1948.
- [2] 马细霞,储冬冬. 粒子群优化算法在水库调度中的应用分析[J]. 郑州大学学报:工学版, 2006, 27(4): 121-124.
- [3] 夏蔚军,吴智铭,张伟,等. 微粒群优化在Job-shop调度中的应用[J]. 上海交通大学学报, 2005, 39(3): 381-385.
- [4] 彭传勇,高亮,邵新宇,等. 求解作业车间调度问题的广义粒子群优化算法[J]. 计算机集成制造系统, 2006, 12(6): 911-917.
- [5] 王明春,唐万生,刘鑫,等. 一种基于PSO的投影寻踪聚类算法[J]. 曲阜师范大学学报:自然科学版, 2008, 34(2): 43-46.
- [6] 姜思杰,张付亮,王孔茂. 基于遗传和禁忌算法求解一类车间调度问题[J]. 计算机集成制造系统, 2003, 9(11): 984-988.
- [7] 梁旭,黄明,常征. 求解车间调度问题的一种新遗传退火混合策略[J]. 计算机集成制造系统, 2005, 11(6): 851-854.
- [8] Muth J F, Thompson G L. Industrial Scheduling[M]. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentics Hall, 1963.
- [9] Lawrance S. Resource Constrained Project Scheduling: an Experimental Investigation of Heuristic Scheduling Techniques[M]. Pittsburgh: Carnegie Mellon Univ, 1984.

Application of Improved Particle Swarm Optimization to Job-shop Scheduling Problem

CHANG Gui-juan

(College of Science, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, Shandong)

Abstract: Traditional particle swarm optimization has some limitations in solving the typical NP-hard problem and Job-shop scheduling problem (JSP). This paper proposes the improved particle swarm optimization (IPSO) via the analysis of its optimization mechanism. In the IPSO, global search and local search are combined and a new particle coding method, particle position permutation (PPP), is proposed to develop a fast and viable hybrid algorithm. Lots of experiments prove that the algorithm can effectively solve JSP problem, which verifies the effectiveness and efficiency of the IPSO in comparison with the genetic algorithm.

Key words: Particle swarm optimization; Job-shop scheduling; Hybrid optimization

(编辑 李德华)

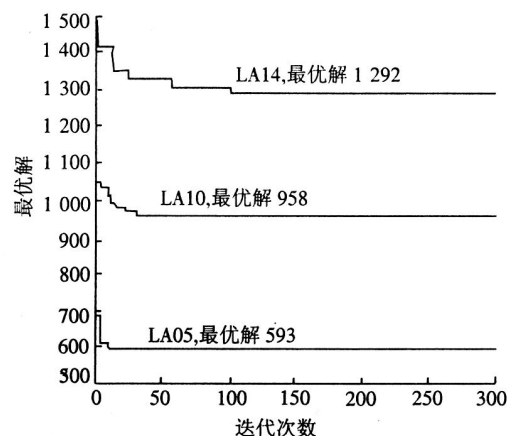


图1 IPSO算法求解LA05、LA10、LA14问题的仿真图

Fig. 1 The simulating curves of LA05, LA10 and LA14 problems with algorithm IPSO