

文章编号:1671-6833(2010)04-0044-04

求解 Job-shop 问题的改进混合离散粒子群优化算法

王书锋, 肖小城, 冯冬青

(郑州大学 电气工程学院, 河南 郑州 450001)

摘要:在详尽分析粒子群优化机理和作业车间调度问题的基础上,提出了结合遗传思想的混合离散粒子群优化算法.算法中增加了异于粒子个体极值点和全局极值点的第三参考点,使得粒子在更新过程中有更多的信息量调整自身状态.在粒子更新模型中引入了调整因子来调节收敛代数;在算法陷入局部最优时用模拟退火跳出局部最优,从而使算法收敛到全局最优.最后,对多个标准 JSP 问题进行了仿真测试,结果验证了改进算法的可行性和有效性.

关键词:作业车间调度;离散粒子群优化;模拟退火;第三参考点;调整因子

中图分类号: TP18;TP301.6

文献标识码: A

0 引言

作业车间调度问题(Job-shop Scheduling Problem, JSP)是一个典型的 NP-hard 问题.可以描述为:给定一个工件集合和一个机器集合,每个工件包含多道工序,每道工序需要在一台给定的机器上非间断地加工,每台机器一次最多只能加工一道工序;调度就是把工序分配给机器上的某个时间段.问题的目标就是找到最大加工时间(Makespan)最短的调度^[1].JSP 是许多实际生产调度的简化模型,是实现先进生产、提高生产效率、节约成本的关键和基础.

粒子群优化(Particle Swarm Optimization, PSO)算法是 Eberhart 和 Kennedy 在 1995 年提出的一种模拟鸟类觅食行为的全新的优化算法.该算法已经成功应用到神经网络训练、系统辨识、车间调度及车辆路径优化等多个领域^[2].

高海兵等^[3]提出了广义粒子群模型,使得粒子更新策略可以融合已有的方法,根据优化问题的特点设计出适宜算法;Gu 等^[4]将粒子群的模型进行了改进,将遗传算法思想融入粒子群算法,并将其用于求解模糊加工时间和模糊交货期的车间调度问题,虽然该方法适合于 JSP,但是算法中跳出局部最优的策略有待改进;Zhang 等^[5]提出了活跃目标点粒子群算法,引入了活跃点作为粒子

更新过程中的另一个信息点,使粒子更新有更多的信息量,对算法局部搜索有很大的改善,但是引进的活跃点增加了额外的计算量,效率有待提高.笔者提出了一种混合的离散粒子群算法,并对典型的 JSP 问题进行测试,仿真实验表明该算法的可行性和有效性.

1 混合离散粒子群优化调度算法

1.1 算法结合的机理

在基本粒子群系统中,每个粒子都被看成是问题的一个候选解.粒子通过个体极值和全局极值来更新自身的速度和位置:

$$V_i^{k+1} = wV_i^k + c_1 \text{rand}() (pB_i^k - X_i^k) + c_2 \text{rand}() (gB^k - X_i^k) \quad (1)$$

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^k \quad (2)$$

式(1)和(2)为基本 PSO 核心的速度-位置更新方程.文献[6]提到: w 会影响粒子的全局和局部搜索能力,调节 w 可以达到收敛速度和局部搜索的平衡.粒子在空间中以个体最优和全局最优位置作为自己进化的“向导”,通过对个体最优和全局最优粒子的记忆,实现个体经验的相互学习和群体经验共享,为了让粒子在空间中有更多的参考信息来引导自身进化,笔者增加了异于个体和全局最优的“第三参考点”,对算法跳出局部最优有很好的改进;基本 PSO 不适合用于解决

收稿日期:2010-03-01;修订日期:2010-04-13

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60774059)

作者简介:王书锋(1966-),女,河南郑州人,郑州大学副教授,博士,主要研究方向:智能生产计划与调度、组合优化. E-mail: shfwang@zzu.edu.cn

JSP 离散寻优问题,笔者将粒子更新方式进行改进,使其更适合解决 JSP;同时引入模拟退火和粒子自身变异的方法改善局部搜索性能。

1.2 混合离散粒子群优化算法

基于上述机理分析,结合 JSP 的自身特点,笔者提出了混合离散粒子群优算法 (Hybrid Discrete Particle Swarm Optimization Algorithm, HDPSOA) 粒子更新模型如下:

$$X_i^{k+1} = \bar{X}_i^k + c_1 (P_i^k \text{cross} X_i^k) + c_2 (P_g^k \text{cross} X_i^k) + c_3 (P_{ibest}^k \text{cross} X_i^k) \quad (3)$$

式中:“cross”是交叉算子;“+”是选优算子; X_i^{k+1} 是粒子 i 在第 $k+1$ 次迭代时的位置; \bar{X}_i^k 是对粒子 i 在第 k 次迭代时进行变异操作; c_1, c_2, c_3 分别为取值 $0 \sim 1$ 的调整因子,分别是 $P_i^k, P_g^k, P_{ibest}^k$ 和 X_i^k 进行交叉操作的概率; P_i^k 是粒子 i 在第 k 次迭代时自身的最优位置; P_g^k 是粒子 i 在第 k 次迭代时的全局最优位置; P_{ibest}^k 是在第 k 代进化粒子中通过轮盘赌方式选择的位置,称为“第三参考点”,该参考点是在已经进化的第 k 代粒子中选择的,所以并没有增加额外的计算复杂度。

1.3 编码方式

为了使 HDPSOA 适宜 JSP 这类离散问题,笔者采用了易于操作的基于工序编码方式^[1]。用长度为 $N_{\text{Job}} \times M_{\text{Machine}}$ 的粒子表示一个可行调度,如粒子 $O = [3 \ 2 \ 2 \ 1 \ 3 \ 2 \ 1 \ 3 \ 1]$ 就表示 3 工件、3 机器的一个 JSP 可行解,其中: O_{jk} 表示工件 i 的第 j 个工序在机器 k 上加工。

1.4 局部搜索策略

PSO 通常具有很好的全局收敛性,但也不可避免地陷入局部最优,笔者在 PSO 中融入了模拟退火和变异的思想。

局部搜索的原理如图 1 所示。在模拟退火初期,使用快速模拟退火,使算法快速收敛到一个区域;退火后期使用指数方式更新温度进行局部搜索。在搜索过程中,若发现粒子的适应度值保持 N 代不变,则认为粒子陷入局部最优。为跳出局部最优并兼顾运行效率,采用模拟退火和变异思想并举的方式,让二者构成可选择的局部搜索。

1.5 HDPSOA 的步骤

(1) 初始化参数。包括:粒子群规模 swarm_size , 进化代数 L , 进行局部搜索的保持代数 N , 调整因子 c_1, c_2 和 c_3 , 初始化模拟退火相关参数。

(2) 采用公式(3)表示的离散粒子群模型对种群中的粒子进行操作。

(3) 对得到的粒子进行快速模拟退火的局部搜索,更新每个粒子的历史最优和群体的全局最优位置。

(4) 判断是否满足局部搜索条件,若是,进行(5);否则,转入步骤(2)。

(5) 进行局部搜索操作。(a)在进行模拟退火局部搜索时,通过变异的方式产生一个新粒子,根据退火接收准则来接收新粒子;(b)当抽样退出条件满足后,退出抽样;然后依据温度更新方程来降温,转步骤(a);直到满足设定的退火结束温度或者设定的抽样代数。

(6) 退出算法。

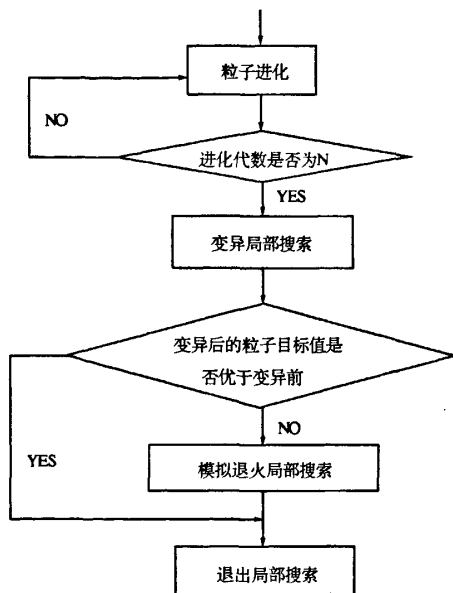


图1 局部搜索原理图

Fig.1 The principle of local search

2 仿真实验结果与分析

2.1 HDPSOA 与部分算法对比实验

仿真实验在 AMD 4000 + /2.11GHz/1GB PC 机上、MATLAB7.0 的编程环境下进行。对表 1 中不同规模的 8 个标准 JSP 问题,分别进行了 10 次测试,并将 HDPSOA 结果与部分算法结果进行了比较,记录了 HDPSOA 优化的相关数据。结果表明:HDPSOA 对于简单规模 (FT06, LA01, LA06, LA11 等) 的标准问题,10 次实验都能收敛到最优值,有较好的稳定性;对于较大规模问题 (FT10, LA16, FT20, LA21 等) 也能多次收敛到最优值。

图 2 为 6 个标准问题进行 10 次测试中的某次最优收敛曲线。结果表明:对简单规模 JSP,算

法能快速收敛到最优值,对于大规模 JSP,算法能准确收敛到最优值;说明该算法在 JSP 上有很好地跳出局部最优的能力.为了平衡收敛速度和寻

优质量,可以改变调整因子,让其在最小的进化代数内收敛.从另一个角度来说,改变调整因子可以提高算法的运行效率.

表 1 HDPSOA 与部分算法最优值的比较

Tab.1 Comparison of optimal results between HDPSOA and other algorithms

问题	C*	HDPSOA	最优值次数/ 测试次数	遗传算法			
				GASA ^[8]	粒子群算法(PSO) ^[9]		
					PV-I	PV-II	PVC
FT06	55	55	10/10	55	55	55	55
LA01	666	666	10/10	666	666	666	666
LA06	926	926	10/10	926	926	926	926
LA11	1 222	1 222	10/10	1 222	1 222	1 222	1 222
FT10	930	930	10/10	930	930	930	930
FT20	1 165	1 165	8/10	1 165	1 165	1 165	1 165
LA16	945	945	9/10	945	945	945	945
LA21	1 046	1 046	9/10	1 058	1 047	1 047	1 046

注:C*为理论最优值.

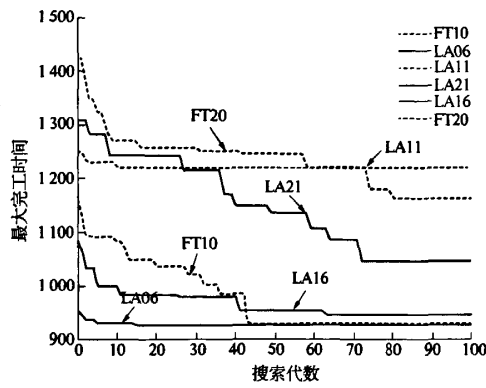


图 2 典型 JSP 问题收敛图
Fig.2 Convergence of typical JSP

2.2 HDPSOA 中调整因子的对比实验

调整因子影响搜索效率.当调整因子 c_1, c_2, c_3 取值较大时,算法的收敛速度快,运行效率高,但会过早地陷入局部最优;当调整因子取值较小时,算法避免过早陷入局部最优,但为了收敛到全局最优值,进化代数应增加,所以影响了收敛的效率.下面以 LA01 问题来评价调整因子对算法性能的影响.取仿真参数:swarm_size = 25, $L = 100, N = 15$,初始化模拟退火相关参数,调整因子分别采用两组参数.参数一: $c_1 = 0.8, c_2 = 0.9, c_3 = 0.8$;参数二: $c_1 = 0.8, c_2 = 0.6, c_3 = 0.7$

图 3 是两组参数仿真得到的收敛曲线对比图.

从图 3 可以看出:两种情况下都可以收敛到最优值 666,但是参数一的收敛速度快.因为粒子在搜索过程中以较大的概率跟踪 $P_i^k, P_g^k, P_{ibest}^k$ 来调节自身的位置.因此可以减少粒子进化代数来

提高搜索的效率.通过多次实验得知,适当增加 c_2 的值,使更多的全局最优位置的信息通过共享进化到下一代粒子,从而提高了算法的运行效率.

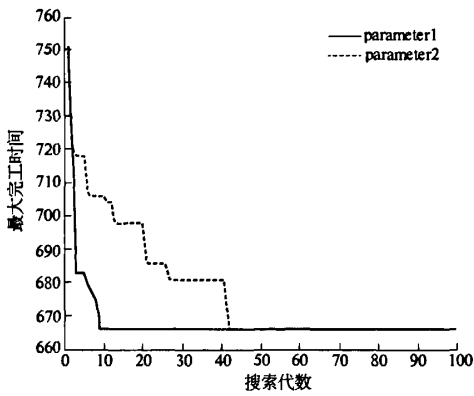


图 3 参数一、参数二收敛曲线对比
Fig.3 Comparison between parameter 1 and parameter 2

3 结论

笔者针对 JSP 问题的特点提出改进的混合离散粒子群优化算法,算法融入了模拟退火和遗传变异思想,引入了第三参考点,使得 PSO 更适合于求解 JSP.通过对 6 类标准 JSP 进行了仿真测试,并对调整因子的选取进行了探讨.结果表明本文提出的改进 HDPSOA 具有可行性和有效性,对解决 JSP 具有一定指导意义.

参考文献:

[1] 王万良,吴启迪.生产调度智能算法及其应用[M].

- 北京:科学出版社,2007.12-13.
- [2] 刘志雄.调度问题中的粒子群优化方法及其应用研究[D].武汉:武汉理工大学机械自动化学院,2005.14-18.
- [3] 高海兵,周驰,高亮.广义粒子群优化模型[J].计算机学报,2005,12(28):1980-1987.
- [4] NIU Q, JIAO B, GU XS. Particle swarm optimization combined with genetic operators for job-shop scheduling problem with fuzzy processing time[J]. Applied Mathematics and Computation. 2008, 205(1): 148-158.
- [5] ZHANG Y N, HU Q N, TENG H F. Active target particle swarm optimization. Concurrency and Computation[J]. Practice and Experience, 2008, 20(1): 29-40.
- [6] 常桂娟.基于微粒群算法的车间调度问题研究[D].青岛:青岛大学复杂性科学研究所,2008.
- [7] 王凌.智能优化算法及其应用[M].北京:清华大学出版社,2001.17-35.
- [8] WANG L, ZHENG D Z. An effective hybrid optimization strategy for job-shop scheduling problems[J]. Computers & Operations Research. 2001, 28(6): 585-596.
- [9] 潘全科,王文宏,朱剑英,等.基于粒子群优化和变邻域搜索的混合调度算法[J].计算机集成制造系统,2007,13(2):323-328.

Study on an Improved Hybrid Discrete PSO for Job-shop Problems

WANG Shu-feng, XIAO Xiao-cheng, FENG Dong-qing

(School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou Henan 450001, China)

Abstract: On the basis of a detailed analysis of the principle of particle swarm optimization(PSO) and characteristics of job-shop scheduling problems, this study presents a new hybrid discrete PSO integrating the genetic strategy. The third reference, which differs from the individual and global extremum, is added to the proposed algorithm for providing more information to adjust particle's position in the updating process; in the updated particle model, adjusting factors are introduced to regulate the generation of convergence; while getting into the local extremum, simulated annealing is used to step out of the local extremum and then converge at the global extremum. Finally, the proposed algorithm is tested on a set of benchmark instances, and the results obtained show the effectiveness and feasibility of the algorithm.

Key words: Job-shop scheduling problem; discrete particle swarm optimization; simulated annealing; the third reference; the adjustment factor