

基于混合粒子群的多目标数字印刷智能排活系统的优化研究

马丽丽, 王晓红

(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: 通过分析多目标数字印刷智能排活系统中各要素的相互关系, 提出了 PSO 与局部搜索策略的混合算法, 并引入了新的学习策略进行分层局部优化, 用多目标分散搜索, 逐步缩小复杂的搜索空间, 改善了 PSO 算法的早熟收敛缺陷, 并取得了较高的求解质量。采用了一种随机键的编码方式, 利用析取图编码将有序表作为优先决策, 来决定发生冲突时各印刷活件的排列顺序。仿真实验验证了混合算法的有效性。

关键词: 混合粒子群(PSO); 多目标数字印刷智能排活; 随机键编码

中图分类号: TS808; TP18 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)09-0015-05

Optimization of Intelligent Multi-objective Dispatching System Based on Hybrid Particle Swarm

MA Li-li, WANG Xiao-hong

(Shanghai University of Science & Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: By analyzing the mutual inner relationships among components in multi-intelligent printing dispatching system, an algorithm mixed with PSO and searching strategy for portion area was put forward. A new studying method to optimize the system partially in every layer was imported and the complicated searching space was reduced gradually by distribute searching, which solved the problem of premature convergence of PSO algorithm and achieved high solution quality. An encoding method with random keys was applied, which can make the ordered table to solve conflict. Simulation results showed that the hybrid algorithm is valid.

Key words: PSO; intelligent multi-objective dispatching; random key encoding

国内数字印刷发展迅速, 市场潜力巨大, 未来数字印刷将逐渐侵蚀传统印刷所占的市场份额。目前国内外还没有功能完整、能够实现数字印刷在线管理集成和服务的软件平台, 国内在远程数字打样技术领域的研发还是空白。数字印刷生产流程控制子系统能够有效地将数字印刷的生产流程进行集成, 并与数字印刷信息管理子系统、数字印刷资产管理子系统有机结合, 实现数字印刷业务流、生产流、信息流的集成。其中, 数字印刷优化调度方案模块在整个数字印刷系统中占有重要的地位。

研究数字印刷优化调度方案, 用于大型连字印刷企业在线接单连锁店间优化调度以及各门店内部

的生产优化调度, 可有效提高数字印刷企业的生产效率和核心竞争力, 使资源分配合理以节约成本, 并提高客户的满意度。由于数字印刷企业主要以短版印刷、按需印刷为主要业务, 因此具有单件、小批量生产, 产品的工艺过程经常变更等特点, 因此, 需要进行良好的计划。数字印刷生产调度优化算法的研究主要包括: 确定数字印刷生产调度的性能指标, 包括最大能力指标、成本指标、客户满意度指标等; 分析经典的车间调度问题算法, 包括基于人工智能的方法、基于运筹学的方法、系统仿真的方法、基于启发式规则的方法等, 并设计用于数字印刷生产调度的最佳算法和决策函数; 进行仿真实验, 对设计的生产调度算法

收稿日期: 2011-03-08

基金项目: 上海市科委基金项目(09220502700)

作者简介: 马丽丽(1984—), 女, 河北邯郸人, 上海理工大学硕士生, 主攻计算智能、数字挖掘。

通讯作者: 王晓红(1971—), 女, 陕西人, 博士, 上海理工大学教授, 主要从事图像处理与模式识别在印刷包装中的应用、色彩理论及应用、数字印刷及应用等的研究和教学。

进行评价。

和传统的数学方法相比,智能优化算法更适合求解多目标优化问题。微粒群算法^[1-3]具有很强的全局优化能力,且概念简明、实现方便、收敛速度快、参数设置少,是一种高效的搜索算法,在求解多目标问题上具有很大的优势。

笔者通过 PSO 与局部搜索策略的混合,引入新的学习策略,通过分层优化,多目标分散搜索逐步缩小复杂的搜索空间,改善 PSO 算法的早熟收敛问题。鉴于印刷智能排活的组合特性及其工艺约束,用于算法的编码必须特殊设计,笔者采用一种随机键的编码方式;其次,利用优先权系数来决定同台机器上发生冲突时各活件的操作顺序。由于其解的多样性以及优化问题的各目标间存在冲突和制约,所以多目标优化问题不存在惟一的全局最优解,求解多目标优化问题实际上就是要寻找一个解的集合(Pareto 最优解集)^[4-6]。

1 数字印刷排活的智能优化调度模型

智能调度问题数学模型^[6]可描述为:有 n 个活件要在 m 台机器上加工, m 台机器的集合表示为 $M, M = \{M_1, M_2, \dots, M_m\}$ 。每个活件 j 有 n_j 道工序($O_{j,1}, O_{j,2}, \dots, O_{j,n}$)需要加工,活件 j 的任一道工序 $i(O_{j,i})$ 都由机器集合 M 中的一台机器 $M_{j,i}(M_{j,i} \subseteq M)$ 来完成。问题是要合理分配各工序 $O_{j,i}$ 到各机器并在各机器上排序,使得以下各个目标最小。 F_1 :制造周期(各机器最大完工时间); F_2 :机器总负载,即各机器总的加工时间; F_3 :关键机器负载,即加工时间最长的机器负载; F_4 :客户满意度要求,达到最高,即在最短时间内,最少费用完成客户要求任务。其数学模型如下:

$$F(x)_{\min} = \sum_{i=1}^k \omega_i F_i(x) \tag{1}$$

$$\sum_{i=1}^k \omega_i = 1, x \in x_j \tag{2}$$

其中: ω_i 代表所优化目标 F_i 的惯性权系数,为 $0 \sim 1$ 的小数; F_i 表示了所优化目标的适应度值; K 代表了所有优化目标的个数,为大于 1 的整数。

1.1 微粒群算法

微粒群算法是在一个 D 维的目标搜索空间中,由 n 个粒子构成一个群体,其中第 i 个粒子($i=1,2,\dots,n$)的位置可表示为 D 维的位置矢量 $Z_i=(Z_{i1}, Z_{i2}, \dots, Z_{id}, \dots, Z_{iD})$ 。根据一定标准计算 Z_i 当前的

适应值,即可衡量粒子位置的优劣。

1.2 编码方式及排序

数字印刷企业主要以短版印刷、按需印刷为主要业务,具有多目标的约束要求,需要针对不同的层次需求进行优化。鉴于智能排活的组合特性及其工艺约束,用于算法的编码必须特殊设计,文中采用一种随机键的编码方式。在此利用基于随机键编码的 ROV^[6] 规则实现连续位置到离散值的转换,其次利用析取图编码将有序表作为优先决策,来决定同台机器上各印刷活件发生冲突时的操作顺序。通过这种转化,无需修改 PSO 算法的进化操作,而且能够保证调度方案的可行性。

ROV 规则具体描述如下:每一个微粒的位置维数都分别对应着一个印刷活件的操作机器编号、加工开始时间、加工结束时间、印刷活件优先权系数,首先将微粒值最小的分量位置赋予 ROV 值 1,即加工时间越短的活件排序号越小;其次将值第二小的分量位置赋予 ROV 值 2,依此类推,直到将所有分量位置都赋予一个唯一的 ROV 值,从而基于 ROV 值可构造出一个印刷活件所对应的机器操作排序。

考虑到微粒的位置矢量中可能同时存在多个相同值的分量位置,若出现这种情况,可以根据优先权系数大小依次将这些位置上的值累积加一个足够小的整数,使得微粒的各位置分量值互不相同。ROV 规则中每个微粒对应的活件采用随机键编码,即每个印刷活件均对应着一个加工序号(或称随机键)。对于 n 个活件 m 台机器的智能排活任务,微粒 k 的位置矢量用一个 $m \times n$ 矩阵 X_k 表示, X_k 的第 i 行对应于机器 i 。首先,利用 ROV 规则,分别对 X_k 的每一行的位置值进行编码转换,得到各台机器上的所有印刷活件操作的优先序。显然每个基于随机键编码的 X_k 通过 ROV 规则均可转化为一个有序表,从而得到新的印刷活件调度方案。

如上例所示:活件 2 有 3 道工序,对应的机器号分别为 3,1,3。在机器 1 上加工的活件顺序为 3.1,1.1,2.2,见表 1。

表 1 微粒的位置向量

Tab.1 Particle position vector

维数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
工序位置向量	2.1	3.1	1.1	3.2	1.2	1.3	2.2	3.3	2.3
加工时间/min	2	2.7	3.1	3.5	4.6	6.1	6.2	7.9	8.6
机器号	3	1	1	2	3	2	1	2	3

2 数字印刷排活调度模型的建立与仿真实验

为了使初始种群具备一定的质量和分散度,采用基于 NEH^[7-8] 方法的种群初始化方法,即首先利用 NEH 方法生成第一个调度解,而其余解则在一定连续区间内随机生成。NEH 方法得到的解是印刷工件的排序,必须转换为在一定区间内的位置矢量,才能进一步执行基于 PSOSA^[6] 的进化搜索。按如下方式实现转换:

$$x_{NEH,j} = x_{min,j} + \frac{x_{max,j} - x_{min,j}}{n} (s_{NEH,j} - 1 + \text{rand})$$

$$(j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

其中: $x_{NEH,j}$ 为微粒在第 j 维的位置值; $s_{NEH,j}$ 是通过 NEH 方法得到解的第 j 维序号; $x_{max,j}$ 和 $x_{min,j}$ 分别为连续空间上微粒位置的上界值和下界值; rand 代表一个 $0 \sim 1$ 均匀分布的随机数。

基于邻域结构的搜索对算法搜索能力的改善有着非常重要的作用。NEH 方法是一种非常有效的求解 PFSP 的构造型算法^[9-10],算法首先计算各工件在所有机器上的加工时间总和,并按递减顺序排列。先将前 2 个印刷活件进行最优调度,然后依次将剩余活件逐一插入到已调度好的活件排列中的某个位置,使得子调度的适应度指标最小,直到所有印刷均调度完毕,从而得到问题的一个调度方案。

局部搜索算法的设置:将相邻的 2 个活件视为一个调度块,具体操作为给定所有活件的一个排序 π ;令 $k=1$,取出 π 中的前 2 个活件,对 2 种可能的加工次序进行评价,选择最大完成时间小的序列作为当前序列;令 $k=k+1$,依次将第 k 个工件插入到当前序列的 k 各可能的位置,从中选择最大完成时间小的序列作为当前序列;重复上述步骤,直到 π 中所有的工件均得到新的排序操作。

为了协调算法的全局粗搜索和局部细搜索能力,设计一种平衡策略,步骤如下:

步骤 1:首先将所有微粒按其最佳位置对应的工件排序目标值递减顺序,确定序号 R_i ,其中目标值最大的微粒的序号为 1;然后确定所有 R_i 号微粒对应的概率 $P_{R_i} = c(1-c)^{R_i-1}$,其中: c 是序号为 1 的微粒的概率(仿真时取 c 为 0.2);进而计算所有 R_i 号微粒的选择概率 $\sum_{j=1}^{R_i} P_{R_i}$ 。显然目标值小的微粒的序号要

大,因此其选择概率的目标值也较大。

步骤 2:根据各微粒的 P_{best} 的选择概率,按轮盘赌选择机制进行多轮选择。对于每一轮选择,被选中的 P_{best} 对应的排列以概率 P_{ls} 进行基于 NEH 方法的局部适应度搜索。

显然,在轮盘赌选择机制下,好的个体最佳位置对应的排列获得局部探索的概率最大。为了调整算法在该局部搜索环节所花费的计算量,可以通过调整 P_{ls} 的大小加以控制。为了避免算法早熟收敛,执行自适应策略下的多邻域局部搜索,结果见图 1 和 2。

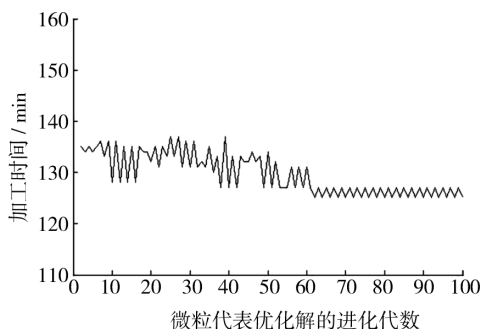


图 1 PSOMA 进化过程

Fig. 1 Evolution process of PSOMA

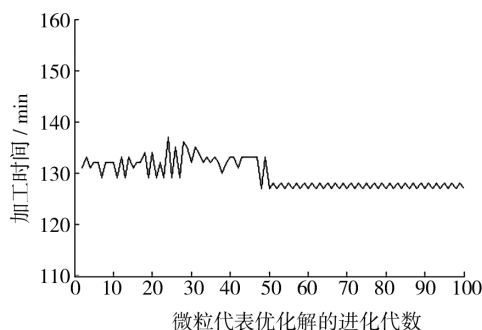


图 2 GA 进化过程

Fig. 2 Evolution process of GA

从图 1 和图 2 的对比可以看出,该微粒群算法收敛速度较快,收敛效果也比较好。

3 智能化调度算法的模块设计

基于数字印刷的业务和生产特点,设计了智能化调度算法的模块,见图 3。

E_b 表示 20 次运行所得的最优相对百分误差; E_a 表示平均相对百分误差; E_w 表示最差相对百分误差; t 表示平均 CPU 计算时间(s)。以 Rec25 为例 P_{ls} 的

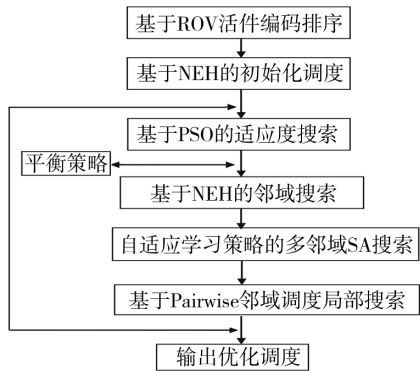


图3 PSOMA 调度算法
Fig. 3 PSOMA dispatching algorithm

大小对于搜索质量和计算时间的影响见表2。

表2 局部搜索概率对搜索性能的影响

Tab.2 Influence of local searching probability
on searching performance

问题 n, m, C^*	PSOMA				
	P_{ls}	E_b	E_a	E_w	t/s
Rec25/30 15/2513	0	1.671	2.712	3.701	7.451
	0.1	0.835	2.085	3.223	12.64
	0.2	1.080	2.221	3.053	16.34
	0.3	0.663	2.205	3.307	19.37
	0.4	1.105	2.275	3.265	26.06
	0.5	0.835	2.134	3.223	25.81
	0.6	0.884	2.115	3.307	33.32
	0.7	0.982	2.228	3.138	35.49
	0.8	0.761	1.983	3.265	45.97
	0.9	0.859	2.159	3.138	51.93
	1.0	1.031	2.195	3.138	73.33

C^* 表示问题的最优 makesman(机器的最大加工时间)值或已知的最优下界。

由表2可见,当 $P_{ls}=0$,即 PSOMA 中不使用基于 NEH 方法的局部搜索时,算法的搜索质量明显比 P_{ls} 不为0时的算法的搜索质量要差,这表明了将基于 NEH 方法的局部搜索引入 PSOMA 的有效性。此外随着 P_{ls} 的增大,计算时间增加,而搜索质量只在较小范围内变化。这说明,当 P_{ls} 不为0时, P_{ls} 不会对 PSOMA 算法的搜索质量造成较大的影响。折衷考虑搜索质量和计算时间,取 $P_{ls}=0.1$ 。

计算实例:采用2个实例(用问题 $n\times m$ 表示)来说明算法的有效性,2个例子(问题 8×8 和问题 15×10)混合优化算法的参数设置见表3。

表3 算法的参数设置

Tab.3 Parameter settings of algorithm

粒子群优化算法		模拟退火算法		
种群数	200	参数	$n\times m$	
最大迭代数	100		8×8	15×10
$W_{\max}$	1.2	T_0	3	10
$W_{\min}$	0.4	T_{end}	0.01	0.01
C_1/C_2	2.0	B	0.9	0.96

应用新算法得到的解如下。

优化解1:

$W_{td}=75, \max(W_k)=12, \text{Makespan}=15$

优化解2:

$W_{td}=73, \max(W_k)=13, \text{Makespan}=16$

其中: W_{td} 表示机器总负载; $\max(W_k)$ 表示关键机器负载。2个解的甘特图表示见图4和5(数字的含义为“工件,工序”,阴影部分表示机器闲置),结果比较见表4。

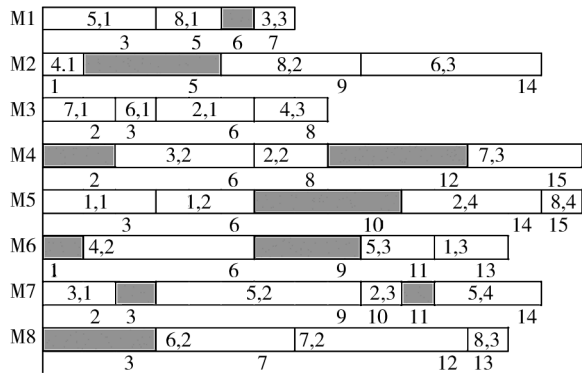


图4 问题优化解1

Fig. 4 Optimal solution 1 of the problem

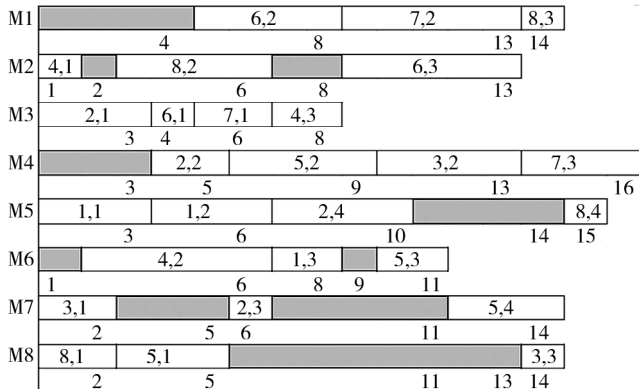


图5 问题优化调度解2

Fig. 5 Optimal dispatching solution 2 to the problem

表 4 不同算法的结果比较

Tab.4 Comparison of results of different algorithms

算法	GA	TD	AL	AL+CGA	PSO+SA
制造周期	16	19	16	15 16	15 16
总负载	77	91	76	79 77	75 73

4 结论

研究了 PSO 智能调度算法在印刷活件排活调度上的应用。改进了微粒群算法,并结合其它智能优化算法局部搜索的优势,将微粒群算法的全局搜索优势和其它智能优化算法的局部搜索优势相混合,将复杂的多目标优化问题,通过分层优化解决,使问题得到简化,在整体上提高了优化的精度和效率。将随机键编码应用到数字印刷活件的智能调度,改进了微粒适应度的编码排序方式,使其根据多目标数字印刷优化调度问题的实际情况不断地进行动态的优化调整,使之更适合于解决实际数字印刷排活调度问题。仿真结果验证了算法的有效性。

参考文献:

[1] KENNEDY J, EBERHART R C. Particle Swarm Optimization[C]//Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Neural Networks. Piscataway, NJ: IEEE Service Center, 1995:1942—1948.

[2] REYNOLD C W. Floek Herds and Schools;a Distributed Behavioral Model[J]. Computer Graphics, 1987, 21(4): 25—34.

[3] KENNEDY J. Stereotyping: Improving Particle Swarm

(上接第 4 页)

[7] 王建清,赵明旭,金政伟,等. 溶解工艺对离子液体法纤维素膜力学性能的影响[J]. 包装工程, 2009, 30(12): 3—5.

[8] LIMA I S, LAZARIN A M, AIROLDI Claudio. Favorable Chitosan/cellulose Film Combinations for Copper Removal from Aqueous Solutions[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2005, 36(1—2): 79—83.

[9] FENG Xian-hua, PELTON Robert, LEDUC M. Mechanical Properties of Polyelect Rolyte Complex Films Based on Polyvinyl-lamine and Carboxymethyl Cellulose[J]. Ind Eng Chem Res, 2006, 45(20): 6665—6671.

[10] XIAO Cong-ming, GAO Yong-kang. Preparation and Properties of Physically Crosslinked Sodium Carboxymethylcellulose/poly(vinyl alcohol) Complex Hydrogels[J]. Jour-

Performance with Cluster Analysis[C]//Proceedings of the Congress on Evolutionary Computing. Piscataway, NJ: IEEE Service Center, 2000: 1507—1512.

[4] KENNEDY J, MENDES R. Population Structure and Particle Swarm Performance[C]. Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2002). Honolulu, HI USA, 2002: 1671—1676.

[5] HIGASHI N, IBA H. Particle Swarm Optimization with Gaussian Mutation[C]. Proceedings of the 2003 Congress on Evolutionary Computation. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2003: 72—89.

[6] 王凌, 刘波. 微粒群优化与调度算法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008

[7] PARSOPOULOS K E, VRAHATIS M N. Unified Particle Swarm Optimization in Dynamic Environments[J]. In Rothlauf Fetal (eds) Evo Workshops, 2005 (a), LNCS 3449: 590—599.

[8] PARSOPOULOS K E, VRAHATIS M N. Unified Particle SwarRl Optimization for Tackling Operations Research Problems[C]. Proceedings Swal-In Intelligence Symposium SIS, 2005(b): 53—59.

[9] HO Shinn-ying, LIN Hung-sui, DAUB Weei-hung, et al. Orthogonal Particle Swarm Optimization and Its Application to Task Assignment Problems[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, 2008, 38(2): 288—298.

[10] TRELEA I C. The Particle Swarm Optimization Algorithm: Convergence Analysis and Parameter Selection [J]. Information Pmcessing Letters, 2003, 85: 317—325.

nal of Applied Polymer Science, 2008, 107: 1568—1572.

[11] 鹿保鑫, 陆庆明, 周睿, 等. 成膜助剂对纤维素基可降解薄膜特性的影响研究[J]. 包装工程, 2010, 31(9): 33—36.

[12] 熊汉国, 吴俊, 卢金珍, 等. 玉米淀粉生物降解薄膜的制备及其生物降解特性的研究[J]. 中国粮油学报 2005, 18(3): 32—34.

[13] 朱华跃, 肖玲, 戊二醛交联对壳聚糖/PVA 共混膜结构和性能的影响[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2005, 24(2): 126—129.

[14] 陈志周, 王建清, 刘冰. 玉米淀粉-聚乙烯醇复合薄膜生产工艺研究[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(8): 47—51.

[15] 严瑞瑄. 水溶性高分子[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998.