

# 蚁群遗传算法在并行机调度优化中应用

*Ant Colony Genetic Algorithm Applied to Parallel Machine Scheduling Optimization*

(淮阴师范学院) 卜 婷  
BU Ting

**摘要:** 针对并行机调度的工作流程与特点, 建立以最小化最大完工时间为优化目标的数学模型。结合蚁群算法和遗传算法的特点, 设计一种混合的蚁群遗传算法, 用于求解该数学模型。通过大量的数据实验测试, 仿真结果表明该模型是可行的, 并且混合的蚁群遗传算法能够得到更精确的结果, 同时加速了算法的求解速度, 从而能够改善并行机调度问题的效率。

**关键词:** 蚁群遗传算法; 并行机调度; 优化

**中图分类号:** TP18 **文献标识码:** A

**Abstract:** According to analyze the process and characters of Parallel Machine Scheduling, the mathematic model was proposed to minimizing the max completion time. Combining the characters of ant colony and genetic algorithm, a hybrid optimization strategy of ant colony genetic algorithm was designed to solve the model. By numerous experimental analysis it was concluded that the model is feasible, and the ant colony genetic algorithm got good performance, then improve the efficiency of parallel machine scheduling.

**Key words:** ant colony genetic algorithm; Parallel Machine Scheduling; optimization

## 1 引言

并行机调度是一类典型的车间生产调度问题, 车间生产调度问题是 CIMS 研究的核心和重点之一, 它对于提高企业资源利用率、缩短交货期、降低生产成本、从而提高企业在市场经济中的竞争力, 因此研究并行机调度具有一定的实际意义。并行机调度问题主要研究的是  $n$  个工件在  $m$  台机器上的加工过程, 每个工件仅需在某一台机器上加工一次, 要求某调度指标最优。本文主要针对时间约束的并行机调度问题, 因为在生产过程中, 往往要求并行机生产系统能够尽早的完成工件的加工。很多学者对该问题的研究已经证明当并行机调度问题规模较大时, 属于典型的 NP 难题。

近年来, 蚁群算法、遗传算法、粒子群算法等各种智能算法的出现为求解并行机问题提供了有力的工具, 其中遗传算法由于具有独特的算法形式、运行机理以及较强的鲁棒性, 被广泛应用在各个求解复杂优化问题的领域中, 但是遗传算法在求解大规模并行机问题时容易陷入局部最优解, 而蚁群算法是 20 世纪 90 年代发展起来的一种模仿蚂蚁群体行为的新的智能优化算法。其基本思想是利用一群人工蚂蚁的协作来寻找优化问题的较优解, 每只蚂蚁根据问题所给的准则, 从被选中的初始状态出发建立一个可行解或部分解, 各个蚂蚁间通过信息素交换信息, 从而达到相互协作的目的, 具有很强的局部搜索能力, 能够较好地解决了遗传算法中全局搜索和局部搜索的平衡问题。

本文以最小化最大完工时间为目标, 建立合理的数学模型, 通过特定的编码方式, 将混合后的蚁群遗传算法应用于并行机调度优化问题中, 通过数值仿真实验, 验证蚁群遗传算法的可行性以及寻优能力。

## 2 并行机调度问题

对于并行机调度问题, 所有工件在各机器上的分配问题以

及各机器上工件加工顺序, 是解决并行机调度问题的两个本质问题。带工艺约束的并行机调度问题的目标是指, 在满足工艺约束的条件下, 寻求一个调度方案, 即各机器上加工工件的代号及机器上工件加工顺序, 使得最大完工时间、滞后时间等优化指标最小。本文以最小化最大完工时间为  $\min C_{\max}$  目标, 针对并行机调度问题建立目标函数。

并行机调度问题一般描述为: 设有  $n$  个工件, 需要在  $m$  台并行机器上加工, 记  $N=(1, 2, 3, \dots, n)$  为待加工工件的集合,  $M=(1, 2, 3, \dots, m)$  为并行机集合。每个工件仅需一道工序完成, 工件间没有优先级限制, 机器  $j$  上第  $r$  个加工的工件记为  $k(j, r)$ , 令  $t(k)$  为工件  $k$  所需的加工时间。假设每台机器每个时刻只能生产一个产品, 且一个产品一旦在某机器上加工就不能中断直至加工完成。

下面引入 0-1 变量法, 由于  $t(k)$  表示工件  $k$  的加工时间, 定义  $k$  在机器  $j$  上的广义加工时间为  $t(k) * x(j, k)$ 。其中, 若工件  $k$  在机器  $j$  上加工, 则  $x(j, k)=1$ ; 若工件  $k$  未在  $j$  上加工, 则  $x(j, k)=0$ 。则机器  $j$  上的工件完工时间为  $\sum_{k=1}^n t(k) * x(j, k)$ , 那么, 整个加工过程的最大完成时间为:

$$C_{\max} = \max_{j=1}^m \sum_{k=1}^n t(k) * x(j, k)$$

这样, 以最小化最大完工时间为目标的带工艺约束的并行机调度问题的目标函数为: 即调度指标为:

$$\min C_{\max} = \min \max_{j=1}^m \sum_{k=1}^n t(k) * x(j, k)$$

在研究并行机调度问题时, 随着问题规模的增大, 问题的解变的非常复杂, 甚至无法通过传统的优化方法来求解, 并且已经被证明为 NP 难题。而遗传算法作为一种群智能算法, 在生产调度这一类组合优化问题求解过程中, 表现出一定的优越性, 本文通过将蚁群算法和遗传算法混合, 并将其应用在并行机调度问题中。

## 3 混合蚁群遗传算法

蚁群算法(AS)是采用人工蚂蚁的行走路线来表示带求解问

题可行解的一种方法,是一种新的仿生类进化算法。该算法通过对现实生活中的蚂蚁觅食行为的研究,发现蚂蚁间借助信息素进行交流,通过正反馈、分布式协作来寻找最优路径。其基本原理是模拟真实蚁群觅食过程寻求最短路径。

遗传算法(GA)是一种基于群体寻优的方法,根据问题的目标函数构造一个适应度函数,对一个由多个解构成的种群进行评价、选择、交叉、变异,经过多代繁殖,获得适应度值最好的个体作为问题的最优解。

蚁群算法是受大自然中蚂蚁觅食启发而产生的一种智能仿生算法,具有简单通用、鲁棒性强、正反馈机制、适合分布处理等特点,因此借助蚁群算法解决并行机调度问题具有重要的意义。但是蚁群算法也存在一些缺陷,如收敛速度慢,容易陷入局部最优解等,而遗传算法的全局搜索能力刚好可以弥补蚁群算法的不足,所以本文采用混合蚁群遗传算法求解并行机调度问题。本文首先利用蚁群算法生成一组优异的初始种群,然后通过遗传算法的全局搜索能力强的特点对蚁群算法产生的种群进行进一步优化,从而实现快速有效的全局优化。混合蚁群遗传算法求解并行机问题步骤如下:

#### 1. 编码

对于并行机调度问题,若初始解直接采用二进制编码,那么得到的染色体将非常复杂,并且在交叉变异的操作时也很困难。本文采用矩阵编码与自然数编码相结合,首先对生成二维矩阵,矩阵的第一行采用自然数编码,表示工件号,第二行为对应的加工机器,可取重复的自然数。如例所示:表示把6个工件分配在2台机器上。

2	4	5	1	6	3
2	1	1	2	1	2

#### 2. 适应度函数

本文以最小化最大完工时间为目标,故目标函数为:

$$\min C_{\max} = \min \max_{j=1}^m \sum_{k=1}^n t(k) * x(j, k)$$

#### 3. 蚁群算法优化初始种群

3.1:初始化参数。循环次数  $N_c=0$ ,设置最大循环次数  $N_{\max}$ ,令路径  $(i, j)$  的初始化信息量  $\tau_{ij} = \text{const}$ ,初始时刻信息量为0,将  $m$  只蚂蚁随机放在  $n$  个城市上。

3.2:设置蚂蚁禁忌表。

3.3:根据状态转移概率公式(2)计算蚂蚁选择城市  $j$  的概率,  $j \in \{C - \text{tabu}_k\}$ 。

$$P_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{s \in \text{allowed}_k} [\tau_{is}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{is}(t)]^\beta}, & j \in \text{allowed}_k \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

3.4:根据式(3)和式(4)更新每条路径上的信息量。

$$\tau_{ij}(t+n) = (1-\rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta \tau_{ij}(t)$$

$$\Delta \tau_{ij}(t) = \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k(t)$$

3.5:若满足结束条件,循环结束输出计算结果。

#### 4. 选择机制

本文使用基于轮盘选择方法,即当前群体中适应度最高的个体不参与交叉运算和变异运算,而是用它来替换掉本代群体中经过交叉、变异等遗传操作后所产生的适应度最低的个体,其他个体通过轮盘赌进行选择操作。轮盘选择法主要优点在于能保证遗传算法终止时得到的最后结果一定是历代出现过的最

高适应度的个体,并且能够加快算法收敛。

#### 5. 交叉策略

针对本文的自然数编码方式,采用部分映射交叉方法,按顺序进行两两交叉。部分映射交叉首先随机选取两个交叉点,交换父代个体交叉点之间的片段,对于交叉点外的基因,若它不与换过来的片段冲突则保留,若冲突则通过部分映射来确定得到没有冲突的基因,譬如两个父代个体为  $p_1=[2\ 6\ 4\ 7\ 3\ 5\ 8\ 9\ 1]$ ,  $p_2=[4\ 5\ 2\ 1\ 8\ 7\ 6\ 9\ 3]$ 。若交叉位置为3,7,则得到后代个体  $q_1=[2\ 3\ 4\ 1\ 8\ 7\ 6\ 9\ 5]$ ,  $q_2=[4\ 1\ 2\ 7\ 3\ 5\ 8\ 9\ 6]$ 。采用部分映射交叉法能够有效避免交叉过程中产生的非法个体。

#### 6. 变异方法

顺序编码串上的各个基因位对应于工件号,本文采用换序变异(SWAP),即随机选择染色体的两个位置,将这两个位置的数字进行交换,例如(15423)随机选择第3位和第5位,变异后得(15324),这样就有效的避免了非法解的产生。

#### 7. 算法停止准则

本文采用设定最大迭代代数的方法,当达到最大代数时算法停止。

## 4 实验仿真

针对并行机调度问题,为验证混合蚁群遗传算法的有效性,将混合后的蚁群遗传算法与基本粒子群算法和遗传算法的优化效果作比较。本文采用文献实验数据进行实验仿真。数据实验中,选取30个工件在10台机器上加工为例,工件的加工时间如表1所示。

表1 机器及对应工件加工时间表

工件号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
加工时间	3	2	6	4	5	7	9	13	4	12	10	18	22	11	8
工件号	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
加工时间	26	14	6	17	27	11	17	26	16	7	23	15	18	15	13

取初始种群规模为20,进化代数为100,遗传参数  $P_c=0.9$ ,  $P_m=0.2$ 。经20次运算并行机调度问题得到的最优解为40。各机器上分配的工件及加工时间如表2所示:

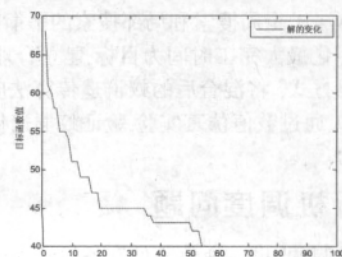
表2 机器加工工件的最优解

机器号	工件号	加工时间	机器号	工件号	加工时间
1	18 27 28	39	6	10 2 29	38
2	14 23	37	7	17 22 25	38
3	1 4 7 26	39	8	6 9 16	37
4	2 3 5 15 19	38	9	8 11 24	39
5	20 30	40	10	13 12	40

程序在 VC++6.0 上编程实现。实验结果见表3。图(1)是通过上述混合蚁群遗传算法得到的带的最优解的进化曲线。

表3 不同算法测试结果比较

实验数据	最优解	平均值(20次)	迭代次数
遗传算法	41	41.8	100
蚁群算法	43	44.2	100
蚁群遗传算法	40	40.6	100



图(1)混合蚁群遗传算法最优解迭代曲线

(下转第134页)



图5和图6的飞行航迹可以通过同样的方式分段定义各个航迹段的参数来实现仿真。

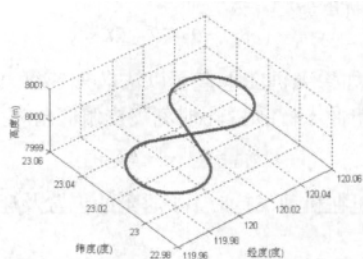


图4 飞机在空中盘旋的航迹仿真结果

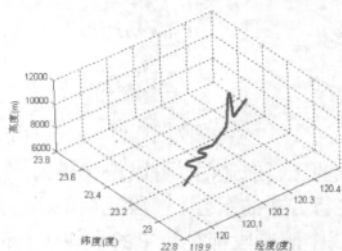


图5 飞机蛇形机动及爬升和俯冲的航迹仿真结果

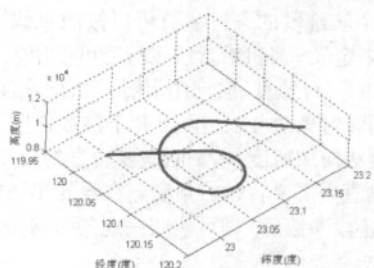


图6 飞机飞行过程中转弯机动的航迹仿真结果

## 5 结束语

本文建立了作战飞机在大地坐标系下各种飞行方式的航迹仿真模型,并通过将复杂航迹分解为几段简单航迹的方法,实现了对作战飞机机动飞行时所形成的复杂飞行航迹的仿真。通过计算机软件编程,实现了对几种典型机动飞行航迹的仿真,并给出了一些仿真实验结果,仿真结果比较真实地反映了飞机机动飞行的运动规律,验证了飞机机动飞行航迹仿真模型的正确性。

本文作者创新点:建立作战飞机各种飞行方式的航迹仿真模型,通过将复杂航迹分解为几段简单航迹的方法,实现了飞机机动飞行时复杂航迹的仿真。

作者对本文版权全权负责,无抄袭。

### 参考文献

- [1]边少锋,柴洪洲,金际航.大地坐标系与大地基准[M].国防工业出版社.2005年.
  - [2]余志宏.飞行模拟机组合导航系统建模与仿真[J].微计算机信息,2008,9-1:279-281.
  - [3]杨立忠.一种飞行器虚拟航迹生成软件的设计与实现[J].航空兵器.2007,2.
- 作者简介:杨莉(1980-),女(苗族),贵州省施秉县人,硕士,工程师,主要研究方向为计算机仿真。安红(1968-),女(满族),内蒙古呼和浩特市人,硕士,研究员,主要研究方向为计算机仿真。

**Biography:** YANG Li(1980-),Female(Miao), Guizhou Province, Master, Engineer, The research area is computer simulation.

(610036 四川 成都 电子信息控制重点实验室) 杨莉 安红 (Science and Technology on Electronic Information Control Laboratory, Chengdu 610036, China) YANG Li AN Hong

通讯地址:(610036 四川省成都市外西茶店子 429 信箱 011 信箱) 杨莉

(收稿日期:2011.02.18)(修稿日期:2011.05.18)

(上接第142页)

通过表3可以看出,蚁群遗传算法的求解质量无论是最优解还是多次求解的均值都优于单独的蚁群算法和遗传算法。通过图1能够看出蚁群遗传算法的收敛速度也相对较快,能够应用于较大规模调度问题。这表明混合的蚁群遗传算法是有效的,并且适合于并行机调度这一类车间生产调度问题。

## 5 结束语/结论

本文针对并行机调度问题提出了一种混合的蚁群遗传算法,该算法结合了蚁群算法和遗传算法各自的优点,首先通过矩阵和自然数编码相结合的方式产生初始解,然后通过蚁群算法对初始解进行优化,生成一组优异的初始种群,最后通过遗传算法的选择、交叉、变异等操作求出最优解。实验结果表明,混合的蚁群遗传算法完全适合于并行机调度这一类调度问题,并且蚁群遗传算法的运行效率比基本的蚁群和混合算法更高,得到的解也更精确。

本文创新点:(1)将蚁群算法和遗传算法混合;(2)混合后的算法应用于并行机调度,并取得良好的效果。

作者对本文版权全权负责,无抄袭。

### 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,2003.
- [2]王定伟,王俊伟等.智能优化方法[M].北京:高等教育出版社,2007.4.
- [3]刘民,吴澄.解决并行多机提前/拖后调度问题的混合遗传算法方法[J].自动化学报.2000,256(2).
- [4]朱长武,戴上平,刘智.并行遗传算法在并行多机调度中的应用[J].微计算机信息,2007,23(2-3).
- [5]陈晶,潘全科.改进蚁群算法求解同型机任务调度问题[J].计算机工程与应用.2011,6.
- [6]何桂霞.特殊工艺约束下最小完工时间并行多机调度问题的研究[J].浙江工业大学学报,2010,38(1).

作者简介:卜婷(1981-),女,汉族,江苏省连云港市人,助教,硕士,主要从事计算机仿真与通讯的研究与教学。

**Biography:** BU Ting (1981 - ), female, Han nationality, Lianyungang City, Jiangsu Province, Assistant, Master, Mainly engaged in research and teaching of Computer simulation and Communication.

(223300 江苏 淮安 淮阴师范学院物理与电子电气工程学院) 卜婷

(School of Physics and Electronic Electrical Engineering, Huaiyin Normal University, Huai'an Jiangsu 223300, China) BU Ting

通讯地址:(223001 江苏省淮安市淮海东路 27 号和平新村社区综合楼 301 室) 卜婷

(收稿日期:2011.02.18)(修稿日期:2011.05.18)