

求解高校教室调度问题的混合粒子群算法*

曹策俊¹, 杨 琴², 李从东¹

(1. 暨南大学 管理学院, 广州 510632; 2. 四川师范大学 商学院, 成都 610101)

摘 要: 针对高校教室调度问题进行了研究, 综合考虑教室集中时间利用率和学生需求, 采用三元组方式, 用任务表示课程, 用设备表示不同类型的教室。据此, 教室排课问题被描述为一类以最小化 $C_{\max}$ 与滞后时间和为调度目标, 具有机器适用限制的并行机调度问题。然后结合问题特性, 建立对应的运筹学调度模型, 并运用混合粒子群算法求解该类调度问题。最后仿真结果表明实现了所讨论的两个优化调度目标, 获得了满意解; 同时通过与其他算法解的比较, 得出混合粒子群算法非常适合求解这里所讨论的教室排课问题这一结论。

关键词: 高校教室调度; 三元组; 并行机调度; 运筹学模型; 混合粒子群算法

中图分类号: TP301 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)12-4451-04

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2012.12.011

Solving for timetabling problem in universities based on hybrid particle swarm optimization

CAO Ce-jun¹, YANG Qin², LI Cong-dong¹

(1. School of Management, Jinan University, Guangzhou 510632, China; 2. Commercial College, Sichuan Normal University, Chengdu 610101, China)

Abstract: The timetabling problem in universities is to assign the courses into classrooms. Taking the classrooms' utilization and students' requirements into consideration, job denoted course and machine denoting the different types of classrooms by a triplet. Thus, the parallel machine scheduling with the machine eligibility restrictions could represent the classroom curriculum problem. Its ultimate objective was minimizing $C_{\max}$ and the sum of tardiness. Then, it proposed the corresponding operational scheduling model on the basis of analyzing the problem's features. And it applied hybrid particle swarm optimization (HPSO) algorithm to solve this problem. In the end, results show that HPSO makes the two objectives come true. It tested the feasibility of proposed algorithm by comparing the results of HPSO with that of other algorithms.

Key words: timetabling in universities; triplet; parallel machine scheduling; operational model; hybrid particle swarm optimization

随着现代社会相对可利用资源的日益紧张, 作好各类资源的统筹安排、优化利用是一件非常有意义的事情。调度在许多具有不同资源和任务的系统设计和管理中都扮演着重要的角色^[1], 如生产、建筑项目、教育和医疗服务系统, 以及运输系统等。调度问题被定义为在一定时间内将稀缺资源分配给不同的任务^[2]。在当今高校的教务管理工作中, 教室调度是一项十分复杂、棘手的工作。如何利用有限教学资源 and 师资力量, 将课程合理地安排到每间教室, 对稳定教学秩序、提高教学质量有着积极意义。

目前, 国内外学者运用遗传算法、禁忌搜索法、混合启发式算法、整数规划、VC 6.0 开发系统、Web 信息化系统、语义解析方法等方法对教室调度问题进行了研究。其中廖远等人^[3-7]都只是单独使用了某种算法, 而没有融合其他算法, 且只考虑了满足教师、教室及课程的要求, 缺乏考虑学生的需求; McCollum 等人^[8-11]采用依赖于计算机的软件开发平台对实现自动化教室调度方面进行了研究, 但其只实现了简单的教室调度而没有

实现调度目标的优化。本文将在同时满足教室、教师、课程以及特别考虑学生需求的情况下, 采用分派规则与粒子群算法相结合的混合粒子群算法对教室问题进行优化调度研究。

教室调度问题是一个可被描述为并行机的问题, 属于 NP 完全问题。目前, 并行机调度的研究集中在启发式算法上^[12-16]。在现实生活中, 需要将多种启发式算法相结合, 以适应更为复杂的问题结构。本文以高校为研究对象, 构建基于混合粒子群算法的模型, 最后用实例进行数值仿真。

1 问题描述及模型设计

高校教室调度问题是一个解决空间和时间资源矛盾的多因素优化决策问题, 实现对班级、教师、教室、时间和课程等几个相互制约的基本因素的时空安排, 而这种安排需要满足一定的约束条件, 如教室的容量、多媒体设备是否完善等方面的约束条件。本文研究的目标是在满足教室适用限制 (M_j) 的约束条件下, 集中时间利用教室提高教务管理效率; 同时, 尽量不把

收稿日期: 2012-04-24; **修回日期:** 2012-06-06 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(70672013); 四川省哲学社会科学“十二五”规划项目(SC11C042); 四川省教育厅科研资助项目(10ZC004); 暨南大学优秀本科推免生科研创新培育计划资助课题

作者简介: 曹策俊(1990-), 男, 四川南充人, 硕士研究生, 主要研究方向为优化调度、应急管理(caocejun0601@126.com); 杨琴(1978-), 女, 四川宜宾人, 副教授, 博士, 主要研究方向为优化调度; 李从东(1962-), 男, 山西大同人, 教授, 博导, 博士, 主要研究方向为现代工业工程、应急管理。

课程安排在晚上,这样可以提高学生的学习效率。

1.1 参数设计

设 m 表示教室总数, i 表示任意一个教室, 取值为 $i \in [1, m]$; n 表示任务总数, j 表示任意一项任务, 取值为 $j \in [1, n]$; e 表示教师总数, q 表示任意一位教师, 取值为 $q \in [1, e]$; T_j 表示任务滞后时间; M 表示全体教室的集合, $M_j \subseteq M$; C_j 表示任务 j 的完成时间, $C_{\max}$ 表示制造期(最后一项任务离开系统的时间), C^i 表示教室 i 里最后一项任务的完成时间, 且 $C^i \in [1, 2, 3, 4, 5]$; p_j 表示任务作业时间; t_j 为任务 j 开始的时刻, 且其范围为 $t_j \in [0, 1, 2, 3, 4]$ 。

1.2 基本假设

假设1 上课学生的数量应该少于或者等于教室的容量。

假设2 任一时刻, 某位教师只能在某间教室上课。

假设3 每位教师授课可超过一门, 但一般不超过3门。

假设4 课程应尽量安排在教学效果好的节次。本文为提高学生学习效率, 晚上尽量不排课程。

假设5 只要班级不是在同一时间、同一地点完成相同的任务, 则都看成是不同的个体。

假设6 所有课程都安排在周一至周五这五天内, 即周末教室不安排课程。

假设7 调度中教室资源的总数为 m , 需要安排 n 门课程, 且 $m < n$ 。

1.3 教室调度问题的描述

一个调度问题可用三元组 $\alpha/\beta/\gamma$ 来描述, α 域描述机器环境; β 域提供加工特征和约束的细节; γ 域描述最小化调度目标。以下从这三个方面描述教室调度问题。

1) 资源环境的描述(α 域)

教室容量用 m 来表示, 其中, 大容量教室可用于所有的任务(总量为 n) 且 $m < n$; 小容量教室只能用于部分任务, 所以具有教室适用限制, 即不是每个教室都有能力完成每项任务。

2) 任务特征和约束(β 域)

该调度问题中任务的预期完成时间为 d_j , 由于理想状态是使所有任务都能在白天完成, 故规定 $d_j = 4$ 。作业时间 p_j (每项任务只进行一道工序, 每次作业时间为 90 min, 若将其视为单位时间, 即 $P_j = 1$) 为约束条件。

3) 调度目标(γ 域)

0~1 时间段上第一门课, 1~2 时间段上第二门课, 依此类推。若该天 4~5 时段有课, 则将该门课程定义为滞后, 该门课所耗时间为滞后时间, 用 T_j 表示, 表述为 $T_j = \max(C_j - d_j, 0) = \max(C_j - 4, 0)$, $T_j \in \{1, 0\}$ 。从 β 域的描述中可知, 滞后时间总和可用晚间占用教室总数来表示, 记为 $\sum T_j$ 。制造期是最后一项任务离开系统的时间, 用 $C_{\max} = \max(C_1, C_2, \dots, C_n)$ 来表示。最小化滞后时间可以尽量避免学生在晚上上课, 以提高学生上课效率, 做到事半功倍。最小化 $C_{\max}$ 可以提高教室的利用率, 且让学生有整块的空余时间自由支配。同时, 管理部门也可以趁此机会对教室内多媒体等设备进行检修。综合上述目标, 教室调度目标可表示为 $\theta_1 \sum T_j + \theta_2 C_{\max}$, 其中 θ_1 、 θ_2 是为了消除量纲而设的两个系数。

1.4 优化调度的模型设计

综上所述, 本文研究的调度问题可以描述为以最小化制造期和滞后时间和为目标, 具有机器适用限制和加工时间约束的

并行同速机($Pm | p_j = 1; M_j | \sum T_j, C_{\max}$)。构建模型如下:

$$\min \quad \theta_1 \sum T_j + \theta_2 C_{\max} \quad (1)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{t=0}^{C_{\max}} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n z_{(t)ij}^i = 1 \quad j=1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{t=0}^{C_{\max}} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n z_{(t)ij}^i = n \quad (3)$$

$$T_j = \max(C_j - 4, 0) \quad (4)$$

$$C_{\max} = \max(C^1, C^2, \dots, C^i, \dots, C^m) \quad (5)$$

$$z_{(t)ij}^i \in \{0, 1\} \quad t=0, 1, 2, \dots, C_{\max} \quad (6)$$

$$1 = \sum_{t=0}^{C_j} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n z_{(t)ij}^i - \sum_{t=0}^{C_j-1} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n z_{(t)ij}^i \quad (7)$$

$$C^i = \sum_{t=0}^{C_{\max}} \sum_{q=1}^e \sum_{j=1}^n z_{(t)ij}^i \quad (8)$$

$$\theta_1 = 1 / (\sum T_{jtl} + \varepsilon) \quad (9)$$

$$\theta_2 = 1 / ((C_{\max})_{xl}) \quad (10)$$

其中, z 表示模型中的决策变量, $z_{(t)ij}^i$ 表示教师 q 在时间 t 、在教室 i 是否开始任务 j , 其取值有如下两种情况: a) 教师 q 在 t 时刻、在教室 i 开始任务 j , 即 $z_{(t)ij}^i = 1$; b) 其他情况, 即 $z_{(t)ij}^i = 0$ 。式(1)为目标函数, 调度目标是最小化 $C_{\max}$ 和滞后时间和。式(2)~(10)为约束条件。其中: 式(2)表示教师 q 在时间 t , 只能在某间教室完成任务 j ; 式(3)保证了所有的任务都有机会开始; 式(4)度量了任务 j 的滞后时间; 式(5)度量了任务 j 的制造期; 式(6)给出了决策变量的取值范围; 式(7)度量了任务 j 的完成时间; 式(8)给出了教室 i 中最后任务的完成时间; 式(9)给出了系数 θ_1 的表达式, 且为了使分母始终有意义, 在 $\sum T_{jtl} = 0$ 时, 加上一个很大正数 ε , 且满足 $1/\varepsilon \rightarrow 0$; 式(10)给出了系数 θ_2 的表达式。

2 算法设计

首先运用分派规则产生初始粒子; 接着运用粒子群算法迭代求解, 以得到更好的调度方案, 在迭代过程中运用分派规则来修正不满足条件的情况。

2.1 分派规则

最低柔性机器(least flexible machine, LFM)是指能加工剩下工作的数量(或能加工的时间总量)最少的机器优先选择。最低柔性工作(least flexible job, LFJ)是指在每个有空闲机器的时刻, 选择可选的只能在最少数量的机器上进行作业的任务优先加工^[2]。

2.2 粒子群算法

粒子群算法(PSO)是一种与遗传算法等仿生类算法相似的计算技术, 采用了群体和进化的概念, 是通过对简化社会模型的模拟而建立起来的。其依据个体间的协作与竞争, 实现复杂空间中最优解的搜索, 可用来求解复杂的优化调度问题。粒子群算法一经提出, 立刻引起演化计算领域学者们的广泛关注, 并在较短时间内出现了大量的研究成果, 成为一个研究热点^[17,18]。

2.2.1 编码设计

根据优化调度原理, 把目标函数问题的可行解空间假想为粒子的 N 维搜索空间, N 代表的是活动数目。课程集合设为 $L = \{l_j\} (j=1, 2, \dots, n)$, 教室集合设为 $M = \{m_i\} (i=1, 2, \dots, m)$, 教师集合设为 $U = \{u_j\} (j=1, 2, 3, \dots, n)$, 排序集合设为 $O = \{o_j\} (j=1, 2, \dots, n)$ 。用以下二维数组表示位置向量 X 和速度向量 V 。

$$X = \begin{bmatrix} U \\ L \\ M \\ O \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_a, \dots & | & u_b, \dots & | & u_c, \dots & | & u_d, \dots \\ 1, \dots, l_a & | & l_a + 1, \dots, l_b & | & l_b + 1, \dots, l_c & | & l_c + 1, \dots, l_d \\ m_1, \dots, m_a & | & m_{a+1}, \dots, m_b & | & m_{b+1}, \dots, m_c & | & m_{c+1}, \dots, m_d \\ o_a, \dots & | & o_b, \dots & | & o_c, \dots & | & o_d, \dots \end{bmatrix}$$

$$V = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ V \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0, \dots, 0 & | & 0, \dots, 0 & | & 0, \dots, 0 & | & 0, \dots, 0 \\ 0, \dots, 0 & | & 0, \dots, 0 & | & 0, \dots, 0 & | & 0, \dots, 0 \\ v_1, \dots, v_{b1} & | & v_{b1+1}, \dots, v_{b2} & | & v_{b2+1}, \dots, v_{b3} & | & v_{b3+1}, \dots, v_{b4} \\ 0, \dots, 0 & | & 0, \dots, 0 & | & 0, \dots, 0 & | & 0, \dots, 0 \end{bmatrix}$$

人; m_3 型12个,可容199人; m_4 型6个,可容275人。根据班级人数的不同,将其也分为四种类型,第Ⅰ类的人数为199~275,第Ⅱ类的人数为139~199,第Ⅲ类的人数为85~139,第Ⅳ类的人数不超过85。教室调度受教室适用限制,不同类别班级有不同约束条件,分配给不同教室。教室可容纳班级类型如表1所示。

表1 教室可容纳班级类型

教室种类	可容纳的班级类型			
m_1	Ⅰ			
m_2	Ⅰ	Ⅱ		
m_3	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	
m_4	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ

所有算法均采用 MATLAB 编程实现,在奔腾双核,主频 2.00 GHz 的计算机上进行实验仿真。测试结果如表2所示,调度过程中性能指标比较如表3所示,本文算法的过程收敛图如图2所示。

表2 不同算法评价指标值

算法	评价指标			
	$\sum T_j$	$C_{\max}$	评价函数值	程序运行时间/s
分派规则	0	4	3.767 9	—
传统 PSO	0	4	0.011 0	15.900 16
本文算法	0	4	0.000 6	15.432 96

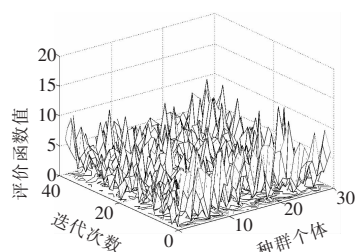


图2 算法过程收敛

从式(14)可以看出,在 $C_{\max}$ 和滞后时间和都相同的情况下,影响评价函数值的关键在于每间教室的任务数与平均值(n/m)的差的绝对值大小。表2中分派规则得到的评价函数值3.767 9远远大于用本文算法得到的值0.000 7,证明了本文混合 PSO 算法对分派规则算法有明显的优越性,即教室分配的任务更加平均。表2中传统 PSO 和本文算法中设计迭代次数为40代,种群样本量为30。两种算法相比较,在迭代次数相同的情况下,采用本文算法得到的解优于传统 PSO,且程序运行时间较短。

由表2和3中的数据得到以下结论:混合粒子群算法的仿真结果显著优越,且随着问题规模的增大,评价指标的优越性更加明显。同时,在此对本文所提算法的时间复杂度给予说明。时间复杂度是指当问题求解规模扩大后,程序运行的时间长度增长的快慢。本文仿真实例所采用的数据规模为 $142 \times 476 (m \times n)$ 。所用数据求解的规模在高校教室调度问题中是比较大的,具有一定的代表性。其运用本文所设计的算法进行仿真,程序运行时间为15.432 96 s,证明了在允许的时间范围内,本文所设计的算法对其他规模的实例同样是可行的。

4 结束语

教室调度问题是高校教务管理中一项非常重要的工作。针对教室调度领域已有研究集中于在满足教师、课程和教室要求的情况下进行教室排课,缺乏考虑学生的要求这一现状,本文首先依据排课问题的硬约束和软约束,建立了运筹学模型;

然后设计了混合粒子群算法求解该调度问题;最后实例仿真结果表明了本文算法的有效性。根据仿真结果可得到如下结论:混合粒子群算法非常适合求解本文所讨论的教室排课问题,同时表2和3中的结果也说明了混合粒子群算法的有效性,实现了所有教室的课程数分配基本平均(即集中时间提高教室利用率)和学生在晚上不用上课的调度目标。

参考文献:

- [1] MOONEY E L. Tabu search for a class of scheduling problems [J]. *Annals of Operations Research*, 1993, 41(3): 253-278.
- [2] PINEDO M. Scheduling: theory, algorithms, and systems [M]. 2nd ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 2002.
- [3] 廖远, 黄勤, 曹培霞. 基于三维编码的自适应遗传算法在排课系统中的应用[J]. *计算机与现代化*, 2008(12): 23-24.
- [4] LU Zhi-peng, HAO Jin-kao. Adaptive tabu search for course timetabling [J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 200(1): 235-244.
- [5] AVDULLAH S, TURABIEH H, McCOLLUM B, et al. A hybrid meta-heuristic approach to the university course timetabling problem [J]. *Journal Heuristics*, 2012, 18(1): 1-23.
- [6] DAMMAK A, ELLOUMI A, KAMOUN H, et al. Course timetabling at a tunisian university: a case study [J]. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 2008, 17(3): 334-352.
- [7] BURKE E K, MEISELS A, RUDOVA H. Decomposition, reformulation, and diving in university course timetabling [J]. *Computers & Operations Research*, 2009, 37(3): 582-597.
- [8] McCOLLUM B, SCHAERF A, PAECHER B, et al. Setting the research agenda in automated timetabling: the second international timetabling competition [J]. *Inform Journal on Computing*, 2000, 22(1): 120-130.
- [9] 景学琴, 朱玉芳, 杜栋, 等. 从排课表到教室调度表的设计与实现 [J]. *计算机应用与软件*, 2004, 21(2): 123-124.
- [10] 李振江. 综合教务管理系统研究与设计 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.
- [11] KINGSTON J H. Resource assignment in high school timetabling [J]. *Annals of Operations Research*, 2012, 194(1): 241-254.
- [12] LIAO Lu-wen, SHEEN G J. Parallel machine scheduling with machine availability and eligibility constraints [J]. *European Journal of Operational Research*, 2008, 184(2): 458-467.
- [13] MA Ying, CHU Cheng-bin, ZUO Chun-rong. A survey of scheduling with deterministic machine availability constraints [J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2010, 58(2): 199-211.
- [14] Van PETEGHEM V, VANHOUCKE M. A genetic algorithm for the preemptive and nonpreemptive multi-mode resource-constrained project scheduling problem [J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 201(2): 409-418.
- [15] KEDAD-SIDHOUM S, SOLIS Y R, SOURD F. Lower bounds for the earliness-tardiness scheduling problem on parallel machines with distinct due dates [J]. *European Journal of Operations Research*, 2008, 189(3): 1305-1316.
- [16] 宋晓宇, 曹阳, 孟秋宏. 求解 Job Shop 调度问题的粒子群算法研究 [J]. *系统工程与电子技术*, 2008, 30(12): 2398-2401.
- [17] 郭云涛, 白思俊, 徐济超, 等. 基于粒子群算法的资源均衡 [J]. *系统工程*, 2008, 26(4): 99-103.
- [18] 谢晓峰, 张文俊, 杨之廉. 微粒群算法综述 [J]. *控制与决策*, 2003, 18(2): 129-134.
- [19] 杜荣华. 一种促进 PSO 全局收敛的参数调整策略 [J]. *系统工程与电子技术*, 2009, 31(6): 1454-1457.