

文章编号: 1671-7848(2014)01-0106-04

## 基于改进遗传算法的机组指派优化方法研究

谭娜, 李耀华

(中国民航大学 航空工程学院, 天津 300300)



**摘 要:** 针对航空公司机组运行计划编制问题进行了研究, 建立了机组指派优化模型, 模型不仅考虑机组与航班执行飞机之间在机型、飞行区域等条件上的匹配要求, 而且考虑机组成员的满意度。同时, 构造了一种改进遗传算法对模型进行求解, 算法采用自然数编码, 动态自适应调整交叉和变异概率。采用航空公司的实际航班数据进行仿真实例研究结果表明, 本文的模型和算法具有良好的可行性。

**关键词:** 飞机排班; 机组指派; 遗传算法

**中图分类号:** TP 29

**文献标志码:** A

## Study on Aircrew Assigning Optimization Based on Improved Genetic Algorithm

TAN Na, LI Yao-hua

(Aeronautical Engineering College, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

**Abstract:** Scheduled aircrew planning process in airlines is analyzed, and the optimization of aircrew assigning is studied carefully. Then an optimization model of aircrew assigning is suggested. The proposed model considers not only the matching of aircraft model, aviation region between aircrew and scheduled flight aircraft, but also the satisfaction of aircrew. A self-adapting genetic algorithm is supposed to solve the model, which uses natural number coding, adjusts dynamically crossover and mutation operator probability. The simulation with production data of an airline company shows the model and algorithm suggested in this paper are feasible.

**Key words:** flight scheduling; aircrew assigning; genetic algorithm

### 1 引言

飞机排班是航空公司生产调度中的一项控制性工作, 机组人员排班计划是其中的一个主要内容, 合理、科学地安排机组人员日程表, 有利于充分利用航空公司人力资源, 降低运营成本。航空公司就是要在保证飞行安全的前提下, 以最小的成本完成所有的航班任务。航班在执行过程发生的机组人工成本的影响, 包括人员待遇、空载成本以及在外过夜成本等。从国内来看, 由于航空公司前几年规模普遍偏小, 因此对生产计划管理工作缺乏重视, 计划方式简单、粗放, 因而对生产计划管理方面的研究非常有限。近几年来, 随着运营规模的扩大, 航空运输市场的开放, 市场竞争不断加剧, 航空公司逐渐意识到加强生产计划管理工作的重要性和紧迫性, 但是总体来说, 关于机组人员排班调度管理方面的理论研究还处于起步阶段<sup>[1-6]</sup>。文献[4]以机组成员满意度为基础考虑机组指派问题, 但是这又不是完全符合我国航空公司排班情况。文献[5]分析了一个经典的机组配对模型, 给出了机组延误概

率这一概念, 给出机组延误概率的计算公式及计算方法, 以及基于机组延误概率最小的鲁棒性机组配对问题的模型。

本文在文献[6]的研究基础上, 借鉴文献[7]的优化算子, 针对机组排班计划编制流程问题进行分析, 着重研究了其中的机组执行任务指派问题, 建立了机组指派优化模型, 在模型中增加了机组满意度的指标, 同时, 构造了一种改进遗传算法快速求解此模型。

### 2 机组指派优化模型

#### 2.1 问题描述

机组排班是指根据管理当局及航空公司的有关规定, 为航班计划中的每一个航班安排飞行员和乘务员的过程。在能够正常完成公司的航班计划的基础上, 公平、合理的排班结果对于调动工作人员的工作积极性、提高工作效率具有重要意义, 并可为航空公司带来巨大的经济效益。

由于飞机排班问题规模大、约束条件众多, 很难建立一个模型和算法来求解, 一个有效的方法就

收稿日期: 2012-10-22; 收修定稿日期: 2013-05-20

基金项目: 国家自然科学基金委员会与中国民用航空局联合资助项目(U1233107)

作者简介: 谭娜(1976-), 女, 河北保定人, 讲师, 博士, 主要从事复杂工业过程建模及智能求解算法等方面的教学与科研工作。

是采用分层分块分别建立模型和算法, 然后再综合平衡, 以求最优效果。本文主要针对机组指派优化问题进行研究, 这个问题需要考虑的约束主要包括: 机组可飞机型要满足所执行航班的机型要求; 机组的适合飞行区域条件要满足所执行航班要求; 机组在相邻的两次飞行任务之间要有一定的休息时间; 机组成员的总体满意度尽量高; 机组日飞行小时不能超过一定的时间。

## 2.2 机组指派优化模型建立

机组指派问题就是为每一个航班执行飞机安排一个空勤机组, 同时满足各种条件的约束, 使空勤机组能完成航空公司的所有飞行任务并力求航空公司的运营成本最低, 这是一个大规模的复杂优化问题。本文综合考虑成本因素以及人员满意度, 建立机组指派优化模型如下:

$$F_1 = \min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} C_{ij}, \quad (1)$$

$$F_2 = \max \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} w_{ij}, \quad (2)$$

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

$$\sum_{i=1}^m t_i x_{ij} < T; \quad (4)$$

$$d_j \geq D_i, \text{ 当 } x_{ij} = 1 \text{ 时}; \quad (5)$$

$$r_j \geq R_i, \text{ 当 } x_{ij} = 1 \text{ 时}; \quad (6)$$

$$DT_{i+1,j} - LT_{i,j} > S, \text{ 当 } x_{ij} = 1, x_{i+1,j} = 1 \text{ 时}; \quad (7)$$

其中:  $i = 1, 2, \dots, m$ ,  $m$  为计划期内执行的航班数;  $j = 1, 2, \dots, n$ ,  $n$  为空勤机组数;  $w_{ij}$  为机组  $i$  对勤务  $j$  的满意程度, 是每个机组成员根据自己喜好对每项工作任务打分分值, 取值为 1~5, 1 为最不满意, 5 为最满意;  $c_{ij}$  为航班  $i$  和机组  $j$  之间的匹配差异惩罚值  $c_{ij} = p_{ij}^m + p_{ij}^r$ ;  $p_{ij}^m$ ,  $p_{ij}^r$  为机组  $j$  与航班  $i$  执行飞机机型代码、飞行地区条件之间的差异惩罚值;

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{机组 } j \text{ 执行航班 } i \text{ 的飞行任务;} \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

$t_i$  为第  $i$  个航班的飞行小时;  $T$  为空勤机组日飞行小时的上限;  $d_j$  为机组  $j$  的可飞机型代码;  $D_i$  为航班  $i$  执行飞机机型代码;  $r_j$  为机组  $j$  可飞区域代码;  $R_i$  为航班  $i$  执行飞机的飞行区域代码;  $DT_{i+1,j}$  为由第  $j$  个机组执行的第  $i+1$  个航班出发时间;  $LT_{i,j}$  为由第  $j$  个机组执行的第  $i$  个航班到达时间。

目标函数(1)力求在机组指派后的差异惩罚值最小, 目标函数(2)力求排班结果机组人员满意度最高, 都是针对计划期内所有航班和机组的整体优化, 约束条件(3)保证针对每一航班的执行飞机只能指派一个空勤机组, 约束条件(4)保证机组日飞行小时不超出飞行小时上限, 约束条件(5)保证指

派给航班的机组可飞机型代码满足航班执行飞机要求, 约束条件(6)保证指派给航班的机组可飞区域代码满足航班的要求, 约束条件(7)保证机组在执行相邻两次航班之间要有一定的休息时间。为了模型和算法计算方便, 将各机型、飞行区域编制为自然数代码, 机型代码、飞行区域的差异惩罚值, 选取文献[6]研究的数据如下(其中机组  $j$  被指派执行航班  $i$ ,  $d_i$  为航班  $i$  执行飞机机型代码,  $d_j$  为机组  $j$  的可飞机型代码, 机型代码根据机型的不同采用 1, 2, 3, 4, 5, 6 来表示,  $R_i$  为航班  $i$  飞行区域代码,  $R_j$  为机组  $j$  的可飞行区域代码, 飞行区域代码按飞行区域等级用 1, 2, 3, 4, 5 来表示)见表 1 和表 2。

表 1 机型差异惩罚系数表

Table 1 Punishing coefficients of aircraft model difference

$D = d_j - d_i$	$ D  = 0$	$ D  = 1$	$ D  = 2$	$ D  = 3$	$ D  = 4$	$ D  = 5$
惩罚值	0	10	50	100	200	500

表 2 飞行区域的差异惩罚值

Table 2 Punishing coefficients of flight areas

$R = R_i - R_j$	$ R  = 0$	$ R  = 1$	$ R  = 2$	$ R  = 3$	$ R  = 4$
惩罚值	0	10	100	500	1000

## 3 机组指派优化模型的改进遗传算法

本文所建立模型的求解属于 NP - 难问题, 采用数学规划等方法很难求解。遗传算法(GA)是一种基于自然进化和选择机制自适应的搜索算法, 已成功应用到多种优化问题的求解, 本文在文献[6]的算法基础上构造下面的改进遗传算法, 采用改进的混合启发式遗传算法进行求解, 采用自然数编码方式, 动态调整交叉和变异概率。

### 3.1 适应值评价函数设定

在优化问题中, 通常将多目标优化问题转化为单目标优化问题来进行求解, 这样可以减少问题计算复杂性, 也增加问题求解的便利性。本文将目标函数(1)和(2)进行综合, 采取以下的目标函数作为适应值评价函数:

$$\text{Min } F = a_1 F_1 - a_2 F_2 \quad (8)$$

其中:  $a_1$ ,  $a_2$  分别为 2 个目标函数的权重系数, 可以根据优化目标进行调整, 本文根据目前国内各航空公司实际情况, 选取  $a_1 = 0.8$ ,  $a_2 = 0.2$ 。

同时为了避免不可行解和加快求解速度, 本文采用智能启发式调整方法。根据专家知识和有关约束条件编制的启发式规则, 在每一代个体不满足约束条件需要调整时, 由启发式规则根据个体情况、专家知识确定调整方向和调整幅度的大小, 保证向优化的搜索方向进行调整, 其中启发式规则的选择与应用需要根据大量的专家知识来挖掘、提炼、总结而得出。

### 3.2 交叉概率 $P_c$ 和变异概率 $P_m$ 动态调整

文献[6]基于 Srinivas M 提出的自适应遗传算法<sup>[3]</sup>采取动态调整交叉和变异概率的方式,取得了较好的效果,本文采取其算法,适当调整其中的参数。其方法主要是根据适应值的集中程度,动态调整每一代群体的交叉概率  $P_c$  和变异概率  $P_m$ ,采用每一代群体的最大适应度值  $f_{max}$ 、最小适应度值  $f_{min}$ 、平均适应度值  $f_{ave}$  来作为适应值集中程度的判断标准。

$$p_c = \begin{cases} p_{c0} + (1 - p_{c0}) \times \frac{f_{min}}{f_{max}} & \frac{f_{min}}{f_{max}} > \alpha, \frac{f_{min}}{f_{ave}} > \beta; \\ p_{c0}, & \text{否则;} \end{cases} \quad (9)$$

$$p_m = \begin{cases} p_{m0} + (1 - p_{m0}) \times \frac{f_{min}}{f_{max}} & \frac{f_{min}}{f_{max}} > \alpha, \frac{f_{min}}{f_{ave}} > \beta; \\ p_{m0} & \text{否则} \end{cases} \quad (10)$$

式中:  $p_{c0}$  为初始交叉概率;  $p_{m0}$  为初始变异概率。

### 3.3 改进遗传算法求解流程

**Step 1** 输入模型求解所需数据: 读入要计算的相应的数据信息。

**Step 2** 算法参数的初始化: 确定算法种群数目和结束最大循环代数, 交叉和变异的初始概率  $p_{c0}$ ,  $p_{m0}$ , 然后根据种群数目给出一代初始的染色体, 作为当前代染色体。

**Step 3** 对当前代染色体进行启发式修正: 检查染色体中的不可行解, 采用智能启发式规则对不可行解进行修正, 直到修正到成为可行解。

**Step 4** 计算当前代染色体的函数适应值, 记

录最优个体作为当前最优解, 并判断是否满足结束准则, 如是, 则停止转 Step 8。否则, 进行下一步 Step 5。

**Step 5** 对当前染色体进行概率的自适应动态调整, 按公式计算交叉和变异概率  $p_c$ ,  $p_m$ 。

**Step 6** 对当前染色体进行单亲遗传操作: 以设定的概率  $p_c$ ,  $p_m$  依次进行交叉操作、变异操作, 最后进行选择操作, 选择出一代最优的染色体。

**Step 7** 将选出的一代染色体作为当前代染色体, 转 Step 3。

**Step 8** 输出当前最优解作为算法的解。

## 4 仿真研究

为了验证机组指派优化模型及算法, 选取一个航空公司 50 个航班, 从 15 个空勤机组中选取机组执行航班任务, 原始数据见表 3, 表 4。为了验证算法的有效性, 本文采用基本遗传算法与文中的改进遗传算法进行了比较研究。

在算法求解中, 本文算法选取参数如下:

遗传算法的种群数目选为 20, 改进遗传算法的交叉初始概率为  $p_{c0} = 0.95$ , 变异的初始概率为  $p_{m0} = 0.15$ , 算法结束准则为连续迭代代数为 400。基本遗传算法的参数选取同样的参数, 仿真结果如图 1 和表 3 所示, 两种算法最优目标函数值分别为 2 708 和 3 700。

机组对航班的满意度评价价值见表 5。

表 3 航班信息表

Table 3 Flight information

序号	航班号	星期	出发地	起飞时间	目的地	到达时间	执行机型代码	飞行区域代码	机组指派
1	nx109	7	PVG	16: 45	MFM	19: 20	3	2	5
2	nx115	1	PVG	15: 05	MFM	17: 55	1	2	6
3	nx115	2	PVG	15: 05	MFM	17: 55	1	2	4
4	nx001	4	PEK	16: 10	MFM	19: 35	1	1	5
5	nx001	5	PEK	16: 10	MFM	19: 35	1	1	4
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
46	nx109	5	PVG	16: 45	MFM	19: 20	3	2	10
47	nx109	6	PVG	16: 45	MFM	19: 20	3	2	10
48	nx001	1	PEK	16: 10	MFM	19: 35	1	1	11
49	nx001	2	PEK	16: 10	MFM	19: 35	1	1	6
50	nx001	3	PEK	16: 10	MFM	19: 35	1	1	4

表 3 为仿真实例中的航班信息表, 由于篇幅原因只列出部分数据, 其中最后一列为模型和算法的求解结果, 即为航班指派的机组序号, 其余各列为算法中用到的数据信息; 表 4 为机组信息表, 表中各列为根据模型和算法要求编制的机组信息编码; 表 5 是根据实际采集的 15 个机组对 50 个航班的满

意度评价价值, 只列出部分数据。图 1 为分别采用遗传算法和文中的改进遗传算法求解航班串编制模型的适应值跟踪曲线。由模型和算法的求解结果可知, 模型和算法可以很快为航班选定执行机组, 同时满足各种约束条件, 而且优化效果明显, 是很好的机组指派结果。根据运算结果的图表可看出, 在

表 4 机组信息表

Table 4 Crew information

机组序号	机组人数	可飞机型号代码	可飞行区域代码
1	8	4	3
2	8	4	3
3	8	4	3
4	6	2	2
5	6	2	2
6	6	2	2
7	10	6	5
8	10	6	5
9	10	6	5
10	6	3	3
11	6	3	3
12	6	3	3
13	10	5	4
14	10	5	4
15	10	5	4

表 5 机组对航班的满意度评价

Table 5 Flight Satisfaction evaluation value of crew

满意度值	航班序号						
	1	2	3	...	49	50	
机组序号							
1	3	2	3	...	1	1	
2	2	2	2	...	5	5	
3	4	5	4	...	3	2	
4	2	2	2	...	2	4	
5	4	3	3	...	2	4	
6	2	3	1	...	2	3	
7	2	4	1	...	4	3	
8	2	3	3	...	2	4	
9	4	3	3	...	3	3	
10	3	2	3	...	1	5	
11	4	3	2	...	4	4	
12	4	2	3	...	4	2	
13	4	3	3	...	1	4	
14	2	5	4	...	3	4	
15	1	2	1	...	3	2	

相同的参数条件下，本文建立的改进的混合遗传算法跟基本遗传算法相比，运算结果更优，而且收敛速度更快。图 1 可看出，随着迭代次数的增加，优化效果也越来越明显，但是计算时间也会增加，具体的迭代次数需要根据生产实际的情况来决定。

目前国内大部分航空公司进行飞机排班计划时都是人工在编制计划，机组指派也是人工或半人工方式进行，针对上述 50 个航班的机组指派计划人

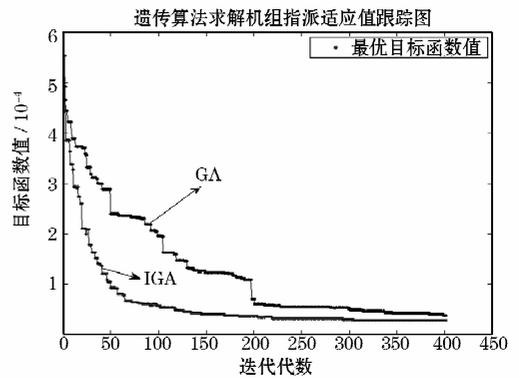


图 1 机组指派模型两种算法求解适应值跟踪图

Fig. 1 Adapting value curve of two algorithms for crew assigning model

工一般需几个小时的计算后才能编制好一个可行的计划。而采用本文的模型和算法，只用十几秒就可以将机组指派计划编制完成，同时优化效果要远远好于人工方式。随着飞机数量的增加，航班数目的增大，人工方式变得越来越困难，采用模型算法的方法可以快速编制优化计划，大大提高自动化水平。

## 5 结 论

本文分析了飞机机组计划的编制流程，重点研究了其中的空勤机组指派优化问题，建立了机组指派的优化模型，综合考虑了航班与机组之间运行的匹配要求，同时考虑机组成员的满意度。本文构造了一种改进遗传算法进行快速求解。通过实际生产数据进行应用研究结果表明，本文建立的模型和算法切实可行，机组指派计划的编制效果良好，进一步进行实际应用研究后可应用于航空生产调度中提高航空公司生产调度的自动化水平。

## 参考文献 (References):

- [1] 周琨,夏洪山. 基于协同多任务分配的飞机排班模型与算法[J]. 航空学报, 2011, 32(11): 2293-2302 (Zhou Kun, Xia Hongshan. Optimaton model and algorithm for aircraft scheduling problem Based on cooperative multi-task assignment [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2011, 32(12):2293-2302.)
- [2] Guay E L, Desaulniers G, Soumis F. Aircraft routing under different business process[J]. Journal of Air Transport Management, 2010, 16(5):258-263.
- [3] Srinivas M, Patnaik L M. Adaptive probabilities of crossover and mutation in genetic algorithms [J]. IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, 1994, 24(4): 656-667.
- [4] 宋静波. 基于单亲遗传算法的飞行机组指派技术[J]. 哈尔滨商业大学学报:自然科学版, 2009, 25(3): 311-313 (Song Jingbo. Research on air-crew assignment based on partheno genetic algorithm[J]. Journal of Harbin University of Commerce: Natural Sciences Edition, 2009, 25(3):311-313.)
- [5] 牟德一,王志新,夏群. 基于机组延误概率的鲁棒性机组配对问题[J]. 系统管理学报, 2011, 20(2): 207-212 (Mou Deyi, Wang Zhixin, Xia Qun. Robust crew pairing problem based on probability of crew delay[J]. Journal of Systems & Management, 2011, 20(2):207-212.)
- [6] 李耀华,谭娜. 飞机排班调度中机组指派优化模型及算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(34): 243-245 (Li Yaohua, Tan Na. Study on aircrew assigning optimization model and algorithm in flight scheduling[J]. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(34): 243-245.)
- [7] 李耀华,谭娜. 飞机指派问题优化模型及算法研究[J]. 控制工程, 2010, 17(2):1-5 (Li Yaohua, Tan Na. Study on aircraft assigning optimization model and algorithm[J]. Control Engineering of China, 2010, 17(2):1-5.)