

# 航班排班中航班串生成与筛选问题的算法与实现

付维方, 张伟刚, 孙春林

(中国民航大学 机电工程学院, 天津 300300)

**摘 要:** 针对国内航空公司运营特点, 提出了分 3 步完成航空公司单日航班运营方案的编制: 首先运用深度优先搜索算法生成可行航班串; 然后以使用飞机数最少为目标, 建立 0-1 整数规划模型对可行航班串进行筛选; 最后以筛选后的航班串作为航班运营方案。通过一个算例的分析说明了该方法的应用。

**关键词:** 航班串; 整数规划模型; 深度优先搜索算法

**中图分类号:** F560.1      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-5000(2006)05-0004-03

## Study of Algorithm in Building and Optimization of Flight Bunches Based on Airline Operation

FU Wei-fang, ZHANG Wei-gang, SUN Chun-lin

(College of Aeronautical Mechanics & Avionics Engineering, CAUC, Tianjin 300300, China)

**Abstract:** On the basis of analyzing operational management method in Chinese airlines, this paper establishes daily flight operational scheme of airlines in three phases. First feasible flight bunches are built by applying depth first search (DFS) algorithm. Secondly 0-1 integer programming model is established to optimize feasible flight bunches. Thirdly filtered bunches are applied to airline operation scheme. Finally, an example is analyzed to demonstrate the application of the algorithm.

**Key words:** flight bunches; integer programming model; Yalgorithmn depth first search (DFS)

目前国内各航空公司投入了大量的人力物力进行航班排班问题的研究和应用, 目的是为了能够快速、准确地安排飞机的运营路线, 尽最大可能降低飞机运营成本。研究的方法都希望能够借助于计算机技术将航班排班过程计算机化, 同时根据各航空公司遇到的具体情况进动态调整, 由于国内各航空公司的规模和技术条件的限制, 能够完全依赖计算机进行航班排班的并不是很多。本文使用了航班串的概念, 通过计算机技术将未来一段时间(一天或一周)内的飞机要执行的航班按照深度优先搜索算法<sup>[1]</sup>联结成尽可能多的航班串, 形成航班串集合, 然后建立航班串筛选整数规划模型<sup>[2]</sup>, 从集合中对航班串进行优选, 选择可行的满足目标需求的子航班串集合作为飞机飞行路径。

### 1 航班串生成

航班排班是航空公司根据其确定的航班要求制订

飞机要运行的路线, 这里航班要求是航空公司要执行的航班集合要求, 是在正常情况下必须能够保证所有的航班准时运行。航班排班计划涉及到诸多因素包括机场、机型、地理位置等, 因此必须能够合理的安排以满足所有的限制条件。目前航班排班计划有年度、季节、月、周、3 天及日计划。本文研究的是日计划的制订。

#### 1.1 基本定义

**航班** 飞机定期由始发站按规定的航线起飞经过经停站至终点站的飞行。

**基地** 飞机和机组人员的主要过夜驻地。

**过站时间** 飞机在航站完成规定的地面作业任务如客货的装卸、飞机清洁、加水、加油、维护以及机组勤务所需的时间称为过站时间。

**航班串** 飞机能够飞行的一系列航班集合, 其中各航班之间必须满足一定的连接条件。

#### 1.2 问题分析

航班排班就是要确定飞机在未来一定时间内所要

执行的航班序列。对于飞机来说, 它要运行的不是一个航班, 在一定的时间区间内它必须能够承担多个航班的飞行任务, 此一系列航班不是任意的, 它必须能够按照一定的准则顺序排列, 在这里按照一定的准则顺序排列的航班也称为航班串。航班串中航班的排列准则如下:

1) 首发航班(飞机第一个执行的航班, 也称为种子航班)的选择条件 从航空公司的基地出发; 航班出发时间满足航空公司飞机的要求(一般是根据各基地每天飞机最早出发时间确定)。

2) 航班的衔接 对于相邻的两个航班来说, 前一个航班和后一个航班执行时间上不能有任何重合点, 而且前一个航班的到达时间和后一个航班的出发时间有一定的时间间隔(也称为过站时间<sup>[3]</sup>), 间隔的长度会根据机场、飞机、机组、天气的不同而不同, 一般来说有一个最小允许时间值, 考虑到航空公司的利润问题一般也有最大值; 对于相邻的两个航班来说, 前一个航班的到达时间和后一个航班的出发时间如果不在同一天, 应根据不同航空公司的具体条件确定两航班的衔接地是否能够保证过夜, 如果可以则两航班可以衔接;

对于相邻的两个航班来说, 前一个航班的到达地点和后一个航班的出发地点相同; 对于相邻的两个航班来说, 保证承担此两航班的机型能够匹配(不一定相同, 但必须保证载客量变化不是很大)。

3) 航班的结束 航班必须在每晚 24 00 以前回到可过夜机场(非正常情况除外, 要考虑机型)。

### 1.3 生成流程

在获取航空公司的航班数据之后需要对数据进行格式化以满足系统的要求, 格式化数据格式如表 1 所示。

表 1 格式化航班数据  
Tab.1 Format of flight data

航班 代码	公司 代码	航班 编号	始发 时间	始发 地点	到达 时间	到达 地点	机 型	周 天
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	--------	--------

根据格式化数据抽取种子航班集合  $S$  和所有航班集合  $F$ , 首先将第 1 个种子航班  $S(i=1, 2, \dots, n)$  放入搜索路径集合  $P$  中记为  $P_k$ , 同时将  $P$  编号输出到外部存储器, 然后从  $F$  中查找能够与  $P_k$  连接的航班, 如果找到某航班  $F_j$  符合连接要求, 就将  $F_j$  放入到  $P$  中并记为  $P_{k+1}$ , 同时将  $P$  编号输出到外部存储器, 再继续从  $F$  中查找能够与  $P_{k+1}$  连接的航班。如在  $F$  找到与  $P_{k+1}$  连接的航班, 就将此航班加入到  $P$  记为  $P_{k+2}$ , 将  $P$  编号输出到外部存储器, 依此类推继续搜索; 如果在整个  $F$  中找不到与  $P_{k+1}$  符合连接要求的航班, 那么在  $P$  中删掉  $P_{k+1}$ , 在  $F$  中继续查找能够与  $P_k$  连接的航班并重复上述查找过程。当第一个种子航班搜索完毕后再搜索第

2 个、第 3 个.....直到遍历所有的种子航班, 流程如图 1 所示。

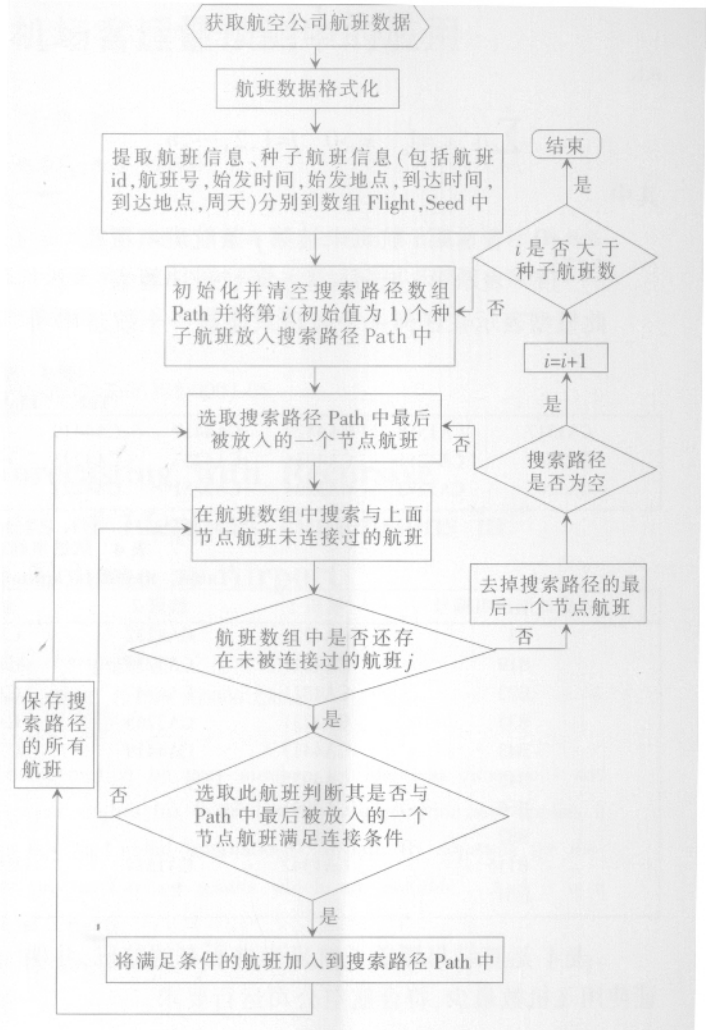


图 1 航班串产生流程图

Fig.1 Flow chart of flight bunch construction

## 2 航班串筛选

### 2.1 航班串筛选整数规划模型

运用以上算法, 系统给出了能够满足要求的所有可能的航班串, 但在实际使用中要考虑合理的运营条件、经济因素, 因此需要在航班串集合中进行筛选得到覆盖所有航班而且要满足一定目标的部分航班串。这里首先定义:

$M=\{1, 2, \dots, m\}$  表示航班集合, 其中的元素表示航班编号, 用  $i$  表示;

$N=\{1, 2, \dots, n\}$  表示航班串集合, 其中的元素表示航班串编号, 用  $j$  表示。

定义 0-1 变量  $x_j$ , 其中

$$x_j = \begin{cases} 1 & \text{表示第 } j \text{ 条航班串被选中} \\ 0 & \text{表示第 } j \text{ 条航班串未被选中} \end{cases}$$

采用以下筛选模型

$$\min z = \sum_{j=1}^n x_j$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = 1 \quad x_j > 0 \quad j=1, 2, \dots, n$$

其中

$$a_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{表示第 } i \text{ 航班未被第 } j \text{ 条航班串覆盖} \\ 1 & \text{表示第 } i \text{ 航班被第 } j \text{ 条航班串覆盖} \end{cases}$$

此模型表示在任何一个航班只能被一个航班串所

覆盖的情况下,所使用的航班串数最少。这就保证了以后在飞机指派的过程中使用飞机数最少,节省了飞机,减少了资源成本。

## 2.2 算例模拟

由于此模型属于传统的整数规划问题,采用单纯型法求解此模型即可得到所需要的解。现以某航空公司的航班数据进行验证<sup>[4]</sup>,如表2、表3、表4所示。

表2 模型算例介绍

Tab.2 Model example Introduction

航班数	生成航班串数	生成约束系数矩阵(119×28)	解
28(见表3)	119	略	见表4

表3 航班号表

Tab.3 Flight numbers

CA1517	CA1518	CA4420	CA4417	CA4419	CA4925	CA4627	CA1639	CA4418	CA1145
CA1342	CA4211	CA4238	CA4253	CA4275	CA4321	CA4347	CA4363	CA4391	CA3231
CA3265	CA3273	CA3294	CA3281	CA4221	CA4232	CA4251	CA4271		

表4 航班串筛选模型运算结果

Tab.4 Result of optimization of flight bunches

选取的航班串编号	航班1	航班2	航班3	航班4	航班5	航班串包含航班数量
B8	CA4221	CA4232	CA4251	CA3273		5
B19	CA4211	CA4238	CA4253	CA4275	CA1639	5
B23	CA4321	CA4347	CA4363			3
B32	CA3231	CA3265	CA4271	CA3281		4
B43	CA4417	CA4419	CA4420	CA4418		4
B45	CA4925					1
B60	CA4391					1
B82	CA4627					1
B115	CA1342	CA1517	CA1518	CA1145		4
总计						28

表4 运算结果覆盖了航班表中所有的航班,并保证使用飞机数最少,符合航空公司运行要求。

## 3 结语

按照航空公司实际情况,对航班数据采用深度优先搜索算法产生航班串集合(也称飞机运行路线集合),通过整数规划模型对航班串进行筛选,形成航空公司航班实际运营路线。本文分为3个步骤最终实现了航班运行方案,具有可操作性、易实现性;同时可扩展性强,可以满足不同目标的航班排班要求。

## 参考文献:

- [1] SHAFFER C A. 数据结构与算法分析(java版)[M]. 北京:电子工业出版社,2001.
- [2] 胡运权,郭耀煌. 运筹学教程[M]. 北京:清华大学出版社,1998.
- [3] 孙宏,杜文. 航空公司航班衔接问题的模型及算法[J]. 四川工业学院学报,2001,20(2):20—22.
- [4] 杜茂康. EXCEL与数据处理[M]. 北京:电子工业出版社,2002.

(责任编辑:杨媛媛)