

航空公司航班衔接问题的模型及算法

孙 宏 杜 文

(西南交通大学交通运输学院, 四川 成都 610031)

摘要: 编制航班衔接表是航空公司制订日常生产计划的基础。本文作者针对单枢纽机场航线网络的特点, 以所需飞机数最少为目标, 提出了描述航班衔接问题的最小费用最大流网络模型, 为利用计算机优化航班衔接方案提供了一种可行算法。

关键词: 航班衔接; 最小费用最大流问题; 网络流模型

中图分类号: U294·1

文献标识码: A

编制航班衔接表是航空公司制订日常生产计划的基础。所谓航班衔接就是将本航空公司的一个到港航班与另一个离港航班衔接起来, 生成若干个“航班串(through)”。在此基础上生产调度人员为每个航班串指派执行的飞机(即飞机指派问题)和空勤机组(即机组指派问题)。以表 1 中的航班计划为例, 可以生成如下两个航班串:

- SZ4401→SZ4402→SZ4305→SZ4306
- SZ4339→SZ4569→SZ4570→SZ4540

表 1 航班计划示例

序号	航班	机型	离港		到港	
			机场	时刻	机场	时刻
1	SZ4401	B757	CTU	0630	GNA	0830
2	SZ4402	B757	GNA	0935	CTU	1105
3	SZ4539	B757	CTU	0750	SHA	0955
4	SZ4540	B757	SHA	1510	CTU	1720
5	SZ4569	B757	SHA	1050	TAO	1210
6	SZ4570	B757	TAO	1255	SHA	1420
:	:	:	:	:	:	:
7	SZ4305	B757	CTU	1225	CIA	1405
8	SZ4306	B757	CIA	1440	CTU	1630

目前在国内的各航空公司里, 编制航班衔接表的工作主要依靠人工形式, 衔接表的质量取决于生产调度人员的经验, 当航班规模变大后该项工作就难以靠手工完成, 为了能运用计算机完成该项工作, 首先需要提出描述航班衔接问题的数学模型及算法。从国外的研究情况来看, Mark S·Daskin 以航班总收益最大化为目标, 提出了一个针对单枢纽机场航线网络的 Lagrangian 松驰算法^[1], 但是由于航班收益计算的复杂

性, 该算法的稳定性有待提高, 而且收益计算所需的原始数据与编制航班衔接表的时限要求有冲突(一般情况下航班衔接表应在前一天上午准备好); Kalyan T·Talluri Gopalan R·等人在仅考虑飞机维护限制的条件下, 利用图论研究了相关的飞机路径问题及路径调整的算法^[2,3], 但美国的适航条例以及公司的航线网络结构与中国有较大差异; 从国内来看, 谢金宝曾对铁路上的机车交路问题进行过研究并提出了一种网络流算法^[4]。受这些算法启发, 本文作者针对单枢纽机场航线网络的特点, 以生成航班串数目最少(执行航班所需的飞机数及空勤机组人数最少)为优化目标, 提出了解决航班衔接问题的最小费用最大流网络模型及算法。

1 网络流模型的建立

1.1 基本定义

1.1.1 单枢纽机场航线网络

所谓单枢纽机场航线结构是指: 航空公司的航班主要围绕一个基地机场安排, 基地机场通过点对点的直飞航线与其它城市相连, 且该基地机场是飞机和机组人员的主要过夜驻地。目前国内各航空公司均采用该类航线网络。

1.1.2 工作日

自每天的最早出港航班开始航前准备工作时刻(0500AM, 记为 t_b)开始, 之后的连续 24h(至次日凌晨 0500AM 时刻, 记为 t_e)为一个工作日。

1.1.3 航班节

收到日期: 2001-03-14

基金项目: 该项研究得到中国民航科研基金资助

作者简介: 孙 宏(1966—), 男, 河北省深县人, 中国民航飞行学院航行系副教授, 博士研究生, 主要从事航空运输方面的研究。

仔细分析各航空公司的航班计划可以发现许多航班之间存在一种“天然”的衔接关系,如表 1 中的航班 1 与 2, 航班 3、4、5 与 6 等。实际上在航空公司制订日常生产计划的过程中也确定将他们视为“一个航班”,即航班节,且每个航班节均以枢纽机场为起点和终点,这样就便航班衔接问题转换为航班节的衔接问题,从而使问题的规模大为减小。进一步地,航班节可分为两类:一类是基地航班节,即其离港、到港时刻均在一个工作日内,因此执行该航班节的飞机及空勤机组不需在外站过夜;另一类是外站航班节情况则与其刚好相反。

1.1.4 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,维护等所需的时间称为过站时间,该时间因机型、机场、航班时刻而异,航班在机场的衔接时间不得少于飞机的最低过站时间 t_{\min} ,本文作者在研究中为了能淘汰不良衔接方案并便于对航班衔接方案的调整,对过站时间的上限也加以限制并定义为 t_{\max} 。

1.2 无外站航班节情况下的网络流模型

将任意航班节 i 在枢纽机场的到港时刻,离港时刻视为结点 v_{ai}, v_{di} , 得到结点集合 V :

$$V = V_a \cup V_d = \{v_{ai}\} \cup \{v_{di}\} \quad (1)$$

将任意到港结点 v_{ai} 与所有可能的离港结点 v_{dj} 以衔接弧 e_{ij} 相连,得到衔接弧集合 E_c :

$$E_c = \left\{ e_{ij} \mid e_{ij} = (v_{ai}, v_{dj}), t_{\min} \leq t_{dj} - t_{ai} \leq t_{\max}, \forall i, j, i \neq j \right\} \quad (2)$$

式中, t_{ai}, t_{dj} 分别为航班节的到港时刻、离港时刻。将任意航班节 i 的到港结点 v_{ai} 与离港结点 v_{dj} 相连,并将连线自中间断开,将所有与离港结点相连的断点汇聚成汇点 v_t ,所有与到港结点相连的断点汇聚成源点 v_s ,从而得到离港弧集合 $E_d = \{e_{jt} \mid e_{jt} = (v_{dj}, v_t), \forall j\}$ 及到港弧集合 $E_a = \{e_{si} \mid e_{si} = (v_{ai}, v_t), \forall j\}$ 。进一步地,将各离港结点与源点 v_s 相连得到起始弧集合 $E_b = \{e_{sj} \mid e_{sj} = (v_s, v_{dj}), \forall j\}$, 将到港结点与汇点 v_t 相连得到终止弧集合 $E_e = \{e_{it} \mid e_{it} = (v_{ai}, v_t), \forall i\}$ 。将飞机在航班节上运行及在机场过站停留的过程定义为“流”,以各弧上的流量 $f(e)$ 表示飞机数。定义弧容量 $c(e)$ 为各航班节或航班节衔接方案所需要的飞机数,则弧容量集合 C 为:

$$C = \{c(e) = 1 \mid c(e) \in E_a \cup E_c \cup E_d\} \quad (3)$$

以航班节的运行时间及飞机在地面停留的时间作为各弧的费用,得到弧费用集合 T :

$$\begin{aligned} T = & \{(e_{si}) = 0 \mid e_{si} \in E_a\} \cup \{t(e_{ij}) \\ & = t_{dj} - t_{ai} \mid e_{ij} \in E_c\} \cup \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \{t(e_{jt}) = t_{aj} - t_{dj} \mid e_{jt} \in E_d\} \cup \{t(e_{sj}) \\ & = t_{dj} - t_b \mid e_{sj} \in E_b, \forall j\} \end{aligned} \quad (4)$$

$\{t(e_{it}) = t_b - t_{ai} \mid e_{it} \in E_e, \forall i\}$

这样就得到了描述航班衔接问题的网络图 $G = \{V, E, C, T, v_s, v_t\}$, 其中弧集合 $E = E_n \cup E_b \cup E_c \cup E_d \cup E_e$ 。在保证完成航班计划的前提下,飞机的总使用时间 Z_f 越小,则完成航班任务所需的飞机数 Z_N 就越少,因此

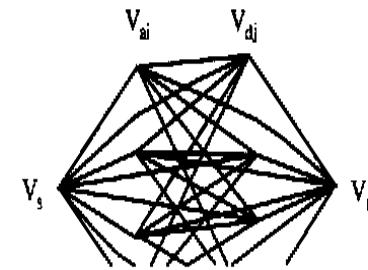


图 1 无外站航班节情况下的网络流模型

航班衔接问题就转换为求解图 1 中网络 G 的最小费用最大流问题,利用文献[5]中的成熟算法既可得出问题的最优解。目标函数为航班衔接方案所对应的飞机数目:

$$\begin{aligned} \min Z_N = & \left[\frac{Z_f}{2440} \right] \\ Z_f = & \sum t(e) * f(e) \end{aligned} \quad (5)$$

1.3 含外站航班节情况下的网络流模型

图 2 中结点 v_{a1}, v_{a2} 分别表示两个外站航班节在枢纽港的到港时刻和离港时刻,此时网络图中的到、离港弧之间出现了不对称。为解决这一问题,引入虚拟离港结点 v'_{d1} (位于工作日开始时刻 t_b),并与汇点 v_t 相连得到相应的离港弧 (v'_{d1}, v_t) ,其容量为 1, 费用为:

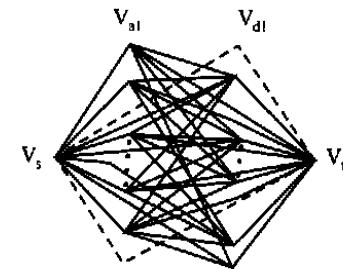


图 2 含外站航班节情况下的网络流模型

$$t(e_{1t}) = t_{a1} - t_b \quad (5)$$

到港弧 (v_s, v_{a1}) 的费用为 0。同理引入虚拟到港结点 v'_{a2} (位于工作日结束时刻 t_e),相应地,到港弧 (v_s, v'_{a2}) 的容量仍为 1, 费用为 0, 而离港弧 (v_{d2}, v_t) 的费用定义为

$$t(e_{2t}) = t_e - t_{d2} \quad (6)$$

2 算例

以表 1 中的航班计划为例,其中共包括 21 个航班,

组合后生成 9 个航班节,其中包括 4 个外站航班节。飞机在枢纽机场的过站时间下限均为 $t_{\min} = 45 \text{ min}$,过站时间上限均取 $t_{\max} = 180 \text{ min}$ 。运用文献[5]中关于最小

费用最大流问题的算法可直接求解得出最少需用飞机架数 Z_N 为 6 架,生成的航班串排列于表 2。

表 2 航班衔接表算例

航班 串号	到港 时刻	离港 时刻	航班号	到港 时刻	离港 时刻									
1	—	0650	SZ4401	0840	0935	SZ4402	1110	1225	SZ4301	1400	1450	SZ4302	1630	—
2	—	1100	SZ4107	1310	1350	SZ4162	1620	1705	SZ4363	1815	1900	SZ4364	2020	—
3	—	0750	SZ4539	0950	1050	SZ4569	1210	1255	SZ4567	1420	1510	SZ4540	1750	—
4	—	0750	SZ4503	0940	1030	SZ4504	1310	1630	SZ4201	1730	—			
5	—	0725	SZ4407	0810	0915	SZ4408	1005	1300	SZ4103	1515	1600	SZ4142	1810	—
6	—	1040	SZ4161	1300	1400	SZ4108	1615	—						

3 结语

本文作者提出的一种解决单枢纽机场航线网络下航班衔接问题的最小费用最大流网络模型,为利用计算机优化航班衔接方案提供了一种可行方法。需要指出的是:在航空公司的日常运营中,航班衔接方案是一个多目标优化问题,除了使所需飞机数最少外,还需综合考虑飞机的适航限制及维护计划限制,空勤机组的作业时间限制等,这些问题均有待进步探讨。

Aircraft to Routes in Hub and Spoke Network [J]. Transprotation Science, 1989, (2): 91~99.

[2] Kalyan T.Tallurei .The Four-Day Aircraft Maintenance Routing Problem [J]. Transporaiion Science, 1998, (1): 43~53.

[3] Gopalan R.The Aircraft Maintenance Routing Problem [J]. Operational Research, 1998, (1): 75~82.

[4] 谢金宝,永秀.利用网络技术求解机车交路方案[J].铁路学报,1996,(5):9~13.

[5] 郭耀煌.运筹学原理与方法[M].成都:西南交通大学出版社,1994.168~169.

•G•

参 考 文 献

[1] Mark S.Daskin .A Lagrangian Relaxation Approach to Assigning

An Optimization Approach to Flight Connecting in Single Hub and Spoke Network

SUN Hong DU Wen

(School of Traffic and Transp··Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031 Sichuan China)

Abstract : to schedule flight connecting is a preliminary work · A minimum cost maximum flow network model is developed for flight connecting in a hub and spoke network system to minimize the number of aircraft required · A computational example with the size of flights is reported · From the results obtained it is obvious that this model is practical for making flight connecting scheme by computer ·

Key words : flight connecting ; minimum cost maximum flow problem ; network flowmodel

简讯

学院一铸造新技术研究获得突破

“使用该技术生产同类铸件可减少金属材料及造型材料的用量,无制芯、取模及修型,成本低,能减轻劳动强度和环境污染,节省能源,提高了经济效益。该项目的研究达到了国内先进水平。”——这是在 2001 年 5 月 11 日举行的项目鉴定会上,由川大田长浒教授等 7 位专家组成的鉴定委员会,对我院材料系魏晓伟副教授主研课题所作出的鉴定意见。

“液态金属在气化模铸造中的充型行为及应用研究”,是四川省教育厅 1998 年下达给我院的重点科研课题,由材料系魏晓伟、曾明、吴卫三位老师承担。该研究属 21 世纪发展的新铸造技术,关键是要解决金属液在气化模中的充填行为的问题。该问题的较好解决与研究的突破,必将产生良好的经济效益和社会效益。(谢开勇)