

文章编号: 1005-2542(2005)02-0136-05

机场停机位分配问题的图着色模型及其算法

文 军^{1,2}, 李 冰¹, 王清蓉¹, 杜 文¹

(1. 西南交通大学 交通运输学院, 成都 610031; 2. 中国民航飞行学院 空管学院, 广汉 618307)

【摘要】 停机位分配作业关系到整个机场的系统运作, 其作用相当重要。通过对停机位分配的分析, 把停机位的分配转化为图着色, 建立停机位分配问题的图着色模型, 并引入时间片算法确定航班使用机位的时间冲突集合, 根据“先到先服务”的原则给出了停机位分配的顶点序列着色算法, 该算法的计算复杂性为 $O(n^2k^2)$, 最后将该算法应用于一个算例。

关键词: 停机位分配; 机场; 图论; 图着色; 算法

中图分类号: V 351. 11; U 291. 3 **文献标识码:** A

Graph Coloring Model and Algorithm of Gate Assignment in Airport

WEN Jun^{1,2}, LI Bing¹, WANG Qing-rong¹, DU Wen¹

(1. College of Traffic & Transportation, Southwest Jiaotong Univ., Chengdu 610031, China

2. ATC Dept., China Civil Aviation Flying College, Guanghan 618307)

【Abstract】 Gate assignment plays an important role and has significant impact on the operation of an airport system. A graph coloring model of gate assignment in airport is set up by analyzing the characteristics of time intervals set that the scheduled flights use the gates. And, a time slice algorithm is introduced to determinate the set of the time conflict of gate assignment. The vertex sequence coloring algorithm is presented according to the rule “First-In-First-Out”. The computerizing complexity of this algorithm is $O(n^2k^2)$. Finally, an example is analyzed to demonstrate the application of this algorithm.

Key words: gate assignment; airport; graph theory; graph coloring; algorithm

航班机位分配是机场生产指挥中心日常工作的一项重要内容。所谓停机位分配是指, 在考虑机型大小、停机位大小、航班时刻等因素的情况下, 在一定时限范围内, 由机场生产指挥中心为到港和离港航班指定适宜的登机口, 保证航班正常不延误, 为旅客上下航班提供登机门(国外称机门指派)。为航班分配停机位包括航班占用停机位时间和占用具体停机位两项内容。这既与航空器种类、到港和离港密集程度有关, 又与机场设备设施和机位分配方法有关。

随着航空运输的快速发展, 航班数量的增多, 完全依靠人工完成该项工作的难度越来越大, 也是目前机场运行管理部门必须面对的实际问题。因此, 建

立机场停机位分配模型并设计相应算法是实现计算机辅助调度机场停机位分配的重要内容。由于航班使用停机位大都集中在一个个的时间区间内进行, 分配停机位的关键是处理作业时间相冲突的任务安排问题, 同时也是算法设计的关键技术。国外学者就此问题进行了研究, 其研究结果可以分为两种: 一种是专家系统^[1,2], 通过将分配原则建立于知识库系统, 并考虑较多的非量化准则; 另一种是数学规划^[3~5], 以旅客在航站楼里步行距离最短为目标函数, 利用 0-1 整数规划探讨分配的可行性及如何分配。前者往往由于受搜索范围的限制, 忽视关键因素而导致分配结果不理想。后一种方法受目标函数的影响, 常会出现把较多的航班分配给较少的有吸引力的停机位, 而且航班时刻微小的变化都会很容易引起停机位分配的混乱和计算量大增, 并且当航班数量较大时, 由于计算时间太长往往得不到最优解。

收稿日期: 2003-09-08 修订日期: 2004-03-03

基金项目: 中国民航飞行学院青年科研基金资助项目

作者简介: 文 军(1968-), 男, 讲师。主要从事航空运输规划与管理研究。

或满意解 同时,国外机场候机楼的规模和航线结构都与国内情况存在显著差别。

本文在系统分析机场停机位分配情况和机场运行管理方式的基础上,提出了描述机场停机位分配问题的图着色模型,通过引入时间片算法确定航班使用机位的时间冲突集合,根据“先到先服务”的原则,设计了一种求解模型的顶点序列着色算法。

1 机场停机位分配的图着色模型

1.1 停机位分配的系统分析

机场停机位根据所能停放的机型大小分为大、中和小型停机位,停机位分配是指根据航班的机型属性(B747, A340, B737等),为每个航班指定一个具体的停机位,包含到达开始使用停机位的时刻和离开结束使用停机位的时刻。在 1 日的不同时期内,由于到港和离港的航班种类、数目和时间不同,确定航班使用停机位的种类和时间也就不同。具体分配停机位使用时,必须满足下列约束条件:

(1) 每个航班必须被分配且仅能被分配至 1 个停机位。

(2) 同一时间同一个停机位不能分配 1 个以上的航班。

(3) 应满足航站衔接以及过站时间衔接要求,即航班开始使用到结束使用停机位时间间隔不得低于飞机完成一次过站作业(如客货的装卸、飞机清洁等)所需的最低时间要求;此外,使用同一停机位的航班前后之间应至少保持一定的时间间隔,以保证航班顺利进出停机位和弥补因意外造成的延误发生。

(4) 机位与所使用机位的航班应该相互匹配,即大型航班只能使用大型停机位,不能安排到中型或小型停机位。但是中型航班可以使用大型停机位,但是不能使用小型停机位。

对飞机进行停机位分配时,本文假设班机时刻表为已知,并且按照“先到先服务”原则对航班进行机位分配,这样就可以应用图着色的理论建立有关停机位分配的数学模型。

1.2 航班机位分配图着色模型

基于图着色的停机位分配结果转化为图模型,其使用的图模型^[7]由二元式组成:

$$G = (V, E)$$

其中:

$$V = \{v_i | \text{待分配停机位的所有航班 } i\}$$

$$E = \{(v_i, v_j) | \text{停机位分配中时间相冲突的航班}\}$$

停机位分配图中,顶点 v 表示需要分配停机位的所有航班集合, $V = \{V_i | i = 1, 2, \dots, n\}$; 边 E 代表停机时间相互冲突的航班集合,

$$E = \{(V_i, V_j) | i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; i \neq j\}$$

关于时间冲突如何确定在 1.3 中进行说明。所谓图着色是指对冲突图中的顶点进行着色,在满足一定条件下,使得任意 2 个相邻顶点不具有相同的颜色,使所需要的颜色数,即停机位数最少。在停机位分配中,停机位作为颜色的集合 $C = \{C_k | k = 1, 2, \dots, K\}$,按照约束关系,航班与机位的匹配关系可以用映射函数表示为: $h: V \rightarrow C, \forall V_i, V_j \in V: \{V_i, V_j\} \in E$, 则 $H(V_i) \neq H(V_j)$ 。满足:

(1) 同一时间内每个航班最多只能占用 1 个停机位;

(2) 每个航班只能被分配给 1 个停机位使用,且航班一旦开始被执行就不能中断直至使用完毕;

(3) 航班与所分配的机位应相匹配。

1.3 航班时间冲突的判断方法设计

由于航班之间使用停机位存在时间冲突,对航班使用机位的时间冲突如何判断是航班机位分配的关键问题,为此本文引入时间片概念^[6]。

1.3.1 时间片定义

定义 1 将某阶段的时间划分为几段,每段时间被几个航班占用,并且由于这几个航班在占用停机位的时间上存在着交叉干扰,不能使用同一个停机位,每段时间称为时间片。

通过引入时间片的定义,就可以把某一阶段的时间划分为几个时间片,航班占用停机位的起止时刻也可以表示为占用一个或多个连续的时间片,占用同一时间片的航班在时间上存在干扰,不能占用同一个停机位。

1.3.2 划分时间片的算法 设 1 日内所有待分配的航班集合 $V = \{V_i | i = 1, 2, \dots, n\}$ (n 为待分配的航班总数);航班开始使用停机位时刻 $B = \{B_i | i = 1, 2, \dots, n\}$,航班结束使用到停机位时刻 $F = \{F_i | i = 1, 2, \dots, n\}$ (在每个航班结束使用停机位的时刻内,都已经包含了航班的最低过站时间);占用时间片 t 的航班集合为 E_t ,存放航班班次; P_B 为指向集合 B 中一个元素的指针; P_F 为指向集合 F 中一个元素的指针; Counter 为计数器,记录每个时间片集合中航班数目,即为在时间片 t 存在时间冲突的航班数目。

时间片划分算法步骤如下:

(1) 将集合 B 和 F 中的元素由小到大排序, $\text{Sort}(B_i), \text{Sort}(F_i)$, 令 $i = 1, \text{Counter} = 0, E_t$ 为空

集;

(2) 令指针 P_B 指向 B_1 , 指针 P_F 指向 F_1 ;

(3) 取出 B 中所有小于 F_1 的元素, 将这些元素对应的航班序号放入 E_i 中, 并从 B 中删除所有放入 E_i 中的元素; 检查集合 B , 若 B 为空集, 则划分完毕, 算法结束;

(4) 令指针 P_B 指向 B_1 ;

(5) 删除 F 中所有小于 B_1 的元素; 检查 E_i 中的元素, 若结束使用停机位时刻大于 B_1 , 则取出放入 E_{i+1} 中;

(6) 若 B 和 F 中有一个为空集, 分配结束, 输出 Counter; 否则令 $t = t + 1$, 执行 (2)。

2 停机位分配问题的算法设计

图的着色问题在生产调度领域有着广泛的应用背景, 已被应用于资源分配、货物存储和课表编排频率分配^[7-10], 本文以文献 [8] 中介绍的 Dsatur 算法为基础, 应用图的广义着色模型, 根据“先到先服务”的原则, 给出停机位分配的顶点序列着色算法

2.1 符号说明

在给出停机位分配的图着色模型算法之前, 先对在算法中使用的一些符号进行说明。

$\Delta(v)$ — 顶点 v 的度数, 是图 G 中与顶点 v 相关联的边的集合数目。

$N(v)$ — 顶点 v 的邻集 $N(v)$: G 中与顶点 v 相邻的顶点的集合。

$U_f(v)$ — 顶点 v 的禁色集 $U_f(v)$: 禁止顶点 v 使用的颜色 (以色号表示) 的集合, 由顶点 v 的邻集 $N(v)$ 中已着色顶点所用的颜色和相应的约束条件共同决定

$l_f(v)$ — 顶点 v 的禁色数 $l_f(v)$: 禁止顶点 v 使用的颜色的数目, 即 $l_f(v) = |U_f(v)|$ 。

$C_v(G)$ — 顶点 v 着色时, G 中已着色顶点所用颜色的集合。

$R(v)$ — 顶点 v 着色时, 顶点 v 可选用的已用颜色的集合, 即 $R(v) = C_v(G) - U_f(v)$

$r(v)$ — 顶点 v 着色时, 顶点 v 可选用的已用颜色的数目, 即 $r(v) = |R(v)|$ 。

2.2 算法设计

考虑停机位分配中的实际情况, 给出基于停机位分配的顶点序列着色算法, 其步骤如下:

(1) 根据划分时间片算法, 确定使用机位时间冲突的航班集合 E

(2) 把需要进行停机分配的航班, 按其时间冲

突情况做出二元图 $G(V, E)$;

(3) 按其顶点的度数 $\Delta(v)$ 从大至小对航班进行降序排列

(4) 给度数最大的航班分配第一组颜色, 若度数相同, 选禁色数 $l_f(v)$ 最大的顶点

(5) 扫描留下的航班, 如果它们与刚分配过的航班相邻接, 则其度数减 1; 对剩余的未着色的航班按其度数进行降序排列, 若度数相同, 选一个禁色数 $l_f(v)$ 最大的航班; 若不止一个, 选其中度数最大者 (再不止一个, 选其中 $r(v)$ 最小者)

(6) 对选出的航班着以可选用的、色号尽可能小的颜色 (若 $R(v) \neq \emptyset$, 对 $R(v)$ 中的颜色优先);

(7) 若所有的航班皆已着色, 停止; 否则, 转 (5)

2.3 算法复杂性分析

算法的复杂性由算法的结构以及须处理的事件数量决定。本文给出的算法其复杂性集中在步骤 (3)~(7), 设待分配机位的航班数量为 n , 停机位数量为 k 。在 (3) 中, 对航班按顶点度数由大到小整理的复杂性为 $O(n^2)$, 在 (4)~(7) 中, 对待分配机位的航班选出一个停机位的复杂性为 $O(k^2)$, 这样完成整个航班机位分配的算法复杂性为 $O(n^2k^2)$

3 算 例

某机场现有 9 个停机位可用, 停机位资料见表 1, 表中: L 表示大型停机位; M 表示中型停机位; S 表示小型停机位。有 18 个航班需分配机位, 其使用机位的开始 (T_B) 和结束 (T_E) 时刻由四位数字组成, 依次表示时、分, 如 1225 表示 12 点 25 分, 机型大小分别用 3 表示大机型, 2 表示中机型, 1 表示小机型 (见表 2)。

表 1 机场停机位资料

机位编号 (颜色号)	可停放的 最大机型	机位编号 (颜色号)	可停放的 最大机型
C_1	L	C_6	M
C_2	L	C_7	S
C_3	M	C_8	S
C_4	M	C_9	S
C_5	M		

首先根据航班使用机位的时间冲突情况, 做出二元图 $G(V, E)$, 如图 1 所示。然后按各顶点的度数由大到小进行排序, 度数相同时禁色数最大的顶点排前, 结果见表 3。

Engineering, 1993, 25(2): 123- 126

[3] Babic O, Teodorovic D, Tosic V. Aircraft stand assignment to minimize walking [J]. Journal of Transportation Engineering, 1984, 110(1): 55- 66

[4] Bih r R A. A conceptual solution to the aircraft gate assignment problem using 0-1 linear programming [J]. Computers and Industry Engineering, 1990, 19(3): 280- 284.

[5] Bolat A. Procedures for providing robust gate assignments for arriving aircrafts[J]. European Journal of Operational Research, 2000, 120(1): 63- 80.

[6] 吕红霞,倪少权.技术站调度决策支持系统的研究——到发线的合理使用 [J].西南交通大学学报, 2000, 35(3): 255- 258.

[7] 肖位枢.图论及其算法 [M].北京:航空工业出版社, 1993. 172- 176.

[8] Daniel Brelaz. New methods to color the vertices of a graph [J]. Communications of the ACM, April, 1979, 22(4): 251- 256.

[9] 刘志镜,秦 荣,朱国伟.实用化计算机辅助课表编排系统的研究与实现 [J].西安电子科技大学学报, 1994, 21(4): 445- 451.

[10] 刘根泉,王树禾,肖国龙.频率分配与图的着色 [J].电子学报, 1994, 22(1): 38- 46.

下期发表论文摘要预报

中国商业银行效率研究

杨 德，迟国泰，孙秀峰
(大连理工大学 管理学院,大连 116024)

摘 要: 根据中国大陆 14家商业银行从 1998- 2002年的历史数据,以银行的在职人员数、固定资产、存款额度为银行投入,银行净利润、当年贷款增加额、资本收益率为产出,采用数据包络分析方法,计算出了中国大陆商业银行每年的成本效率、配置效率和技术效率,比较了商业银行之间的效率差异,分析了银行效率随时间变化的趋势,得出了如下结论:①国内商业银行的成本效率整体上有较大提高,但是国有独资银行的 3 个效率都低于股份制商业银行。②国内商业银行的成本无效率主要是技术效率低引起的。③国内股份制商业银行与国有独资银行在配置效率上没有显著的差异。

时间连续的马尔柯夫过程在汇率预测中的应用

王竹芳，潘德惠
(东北大学 工商管理学院,沈阳 110004)

摘 要: 为克服应用传统统计方法进行汇率预测时,因误选模型而导致的误差,提出了基于时间连续马尔柯夫过程的汇率预测方法。通过确定马尔柯夫过程的转移速度矩阵,建立汇率短期预测模型,并对其用拉普拉斯变换进行求解。将此模型应用于欧元/美元汇率的短期波动预测,实例表明,预测结果与实际观测值符合较好。

我国证券市场行情收益三因素模型的实证研究

邓长荣，马永开
(电子科技大学 管理学院,成都 610054)

摘 要: Fama-French三因素模型比资本资产定价模型能更好的描述股票收益率横截面数据的变动,采用最新的股票数据(2000. 01~ 2003. 12),运用 Fama-French三因素模型对每个行业的平均回报率进行了检验。论证了行业收益的三因素模型在我国证券市场上是成立的,同时检验了我国证券市场上每个行业是否有“月度效应”现象。实证结果为风险预算过程中的战略风险预算和风险控制提供了可靠依据,同时为投资组合选择、预测、决策及其业绩评价提供了一定的依据。