

文章编号:1671-1637(2013)04-0079-08

机场群运行方式下的航班时刻与频率优化模型

吴 刚, 夏洪山, 高 强

(南京航空航天大学 民航学院, 江苏 南京 210016)

摘 要:针对枢纽机场的拥堵问题,提出了机场群航班时刻与频率优化策略。应用运输需求管理理论,以旅客最小出行损失时间为目标函数,以旅客流失率与航空公司客座率为约束条件,建立了基于机场群运行方式的航班时刻与频率优化模型。根据机场群内5个机场的地面交通时间与枢纽机场的航班数量与平均延误的关系,将机场群内各个机场的旅客需求进行分类,采用 k -means聚类算法,计算了航班时刻与频率、旅客出行损失时间、机型与数量分配方式。计算结果表明:在机场群运行方式下,旅客需求分为7类,满足全部旅客需求的航班数量为11个,旅客出行损失时间为123 403 min;在独立运行方式下,旅客需求分为8类,满足全部旅客需求的航班数量为13个,旅客出行损失时间为165 343 min;在机场群运行方式下,采用遗传算法求得的满足全部旅客需求的航班数量为11个,旅客出行损失时间为126 119 min。

关键词:航空运输;机场群;航班延误;航班时刻;航班频率;聚类算法;遗传算法

中图分类号:V355.2

文献标志码:A

Optimization model of flight time and frequency under operation mode of multi-airports system

WU Gang, XIA Hong-shan, GAO Qiang

(School of Civil Aviation, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, Jiangsu, China)

Abstract: Aiming at congestion problem at hub airport, the optimization strategy of flight time and frequency for multi-airports system was put out. The transportation demand management theory was used, the minimum trip lost time of passenger was taken as objective function, the passenger wastage rate and the occupancy rate of airline were taken as constraint conditions, and the optimization model of flight time and frequency based on operation mode of multi-airports system was established. According to the ground traffic times of 5 airports in multi-airports system and the relation between flight amount and average delay for hub airport, passenger demand in each airport was classified, and the flight time and frequency, the trip lost time of passenger and the distribution modes of aircraft type and amount were calculated by using k -means clustering algorithm. Calculation result shows that under the operation mode of multi-airports system, passenger demand is classified into 7 classes, the flight amount satisfied all passenger demands is 11, and the trip lost time of all passengers is 123 403 min. Under the independent operation mode, passenger demand is classified into 8 classes, the flight amount satisfied all passenger demands is 13, and the trip lost time of all passengers is 165 343 min.

收稿日期:2013-01-18

基金项目:国家自然科学基金项目(61079014);中国民航局软科学基金项目(MHRD201221)

作者简介:吴 刚(1976-),男,江苏盐城人,南京航空航天大学工学博士研究生,从事民航信息工程与控制研究。

导师简介:夏洪山(1952-),男,江苏泰州人,南京航空航天大学教授。

Under the operation mode of multi-airports system, the flight amount satisfied all passenger demands is 11, and the trip lost time of all passengers is 126 119 min by using genetic algorithm. 8 tabs, 2 figs, 19 refs.

Key words: air transportation; multi-airports system; flight delay; flight time; flight frequency; clustering algorithm; genetic algorithm

Author resumes: WU Gang(1976-), male, doctoral student, +86-25-84891165, wugang@caac.gov.cn; XIA Hong-shan(1952-), male, professor, +86-25-84891165, xhsca@nuaa.edu.cn.

0 引 言

中国机场的发展突出体现在结构上的不平衡。枢纽机场如首都机场的时隙资源无法满足进出港航班数量的快速增长要求,一般机场却时隙资源充足而航班数量稀少。这种不平衡造成枢纽机场发生严重的拥堵,当恶劣天气出现时会造成大面积的航班延误。航空运输的网络性使得延误在整个网络中传播,从而造成整个运输系统的效率降低,给航空公司与旅客带来巨大的经济损失^[1]。Abevratne 研究了机场航班数量与航班延误的关系,提出了采用市场手段与行政手段对时隙的一级市场与二级市场进行控制^[2];Brueckner 研究了在拥堵机场具有垄断地位的航空公司对拥堵的影响,证明了具有垄断地位的航空公司决定了拥堵是内在化的,无法通过提取拥堵费降低航班数量^[3];Sentance 研究了采用拍卖方式对机场的时隙资源进行重新分配的可行性,提出通过拍卖方式可以减少“祖父权利”对时隙利用率的影响^[4];Pels 等研究了拥堵费用的定价问题,提出以拥塞价格等于旅行延误的边际价值作为收费依据,并指出次优收费通常低于拥堵成本^[5-6]。虽然以上依据需求管理思想建立的定价与收费方法在国外机场已经得到了广泛应用,但是这些方法不可能在所有机场获得使用,尤其是在中国航空运输体系中^[7-8]。国外学者对于非收费方式治理枢纽机场拥堵的方法也进行了一些研究,Brueckner 对比研究了收费方式与航班数量限制方式治理机场拥堵的差异性,研究表明优化的收费标准和收费的均匀性会扭曲航空公司对航班数量的选择,从而造成大型航空公司的航班数量过多减少而小型航班公司的航班数量过多增加,采用基于航班数量控制的方式,通过免费或拍卖方式提供给各个航空公司一定数量的时隙将导致航空公司的航班数量固定化,因而拥堵的大小就完全取决于机场当局对时隙数量的最优控制^[9];Vaze 等研究了航空公司之间通过航班频率的竞争缓解机场拥堵的问题,提出了时隙数量限定下

的 Nash 博弈模型,采用基于动态规划的序贯优化决策方法获得了均衡解,结果表明减少很小的时隙数量即减少很小的航班数量将导致旅客延误减少并给航空公司带来更多的收益^[10];Flores-Fillol 研究了枢纽机场的航班频率与机型问题,通过构建包含航班频率、机型与拥堵成本定价的模型,揭示了造成枢纽机场拥堵的主要原因是太多的航班使用了过小的机型^[11];Wang 等研究了在机场群中各个机场出发时刻的优化问题,考虑了航班在机场跑道与飞行路径中存在的冲突,并采用禁忌搜索算法获得优化航班时刻表^[12];朱承元等从空中流量控制的角度采用 SIMMOD 仿真建模工具和带有约束限制的 SP-SA 优化算法对珠三角地区多机场系统的航班时刻进行了仿真优化研究,以航班进入多机场空域至停止在登机口时全过程产生的延误成本为目标函数,确定最优的航班起飞时刻^[13]。从空中交通流量控制角度的研究,更注重的是从航班在空中运行应满足飞行安全要求,因而产生航班与航班之间相互避让的延误。这种研究更注重微观上的延误,没有触及到航班时刻的本质是更好地满足旅客出行的时间需要。中国在一些区域已经形成了机场群,如长三角地区、珠三角地区、成渝地区。机场群中各个机场的航线具有同质性,但是旅客需求量具有明显的差异。在高峰时期,虹桥机场飞往首都机场的航班达到每 5 min 一班,而无锡等地的机场 40 min 才有一班。机场群的一个显著特点就是机场之间相互紧邻,具有发达的地面交通系统,因而为旅客需求能够便利的在机场之间相互流动创造了条件。Windle 等构建了 Logist 模型预测华盛顿哥伦比亚特区至巴尔的摩地区的多机场系统中的旅客出行选择问题,研究结果表明出行时间与航班频率对旅客选择非常重要,但是机场的出行时间增长和航班频率减少对商务旅行者的影响大于非商务旅行者,从理论上来说旅客存在选择异地乘机的可能^[14]。

机场群的这个特性为采用航班时刻与频率优化解决拥堵问题提供了新的研究方向。本文首次从旅

客出行需求的角度,将运输需求管理理论应用于机场群的航班优化达到减少航班延误的目的。通过优化航班时刻与频率,减少机场群至枢纽机场的航班需求,从而减少枢纽机场时隙资源不足的状况,这是从根本上减少航班延误的方法。由于长三角地区是中国经济最为发达的地区之一,并且航空旅客的构成上旅游旅客的数量已经超过了商务与公务旅客的数量,因此,长三角旅客需求存在异地乘机的可能性。本文从长三角机场群中旅客需求可以在各个机场间转移的假设出发,在确保旅客需求均能得到满足的前提下,研究通过在机场群内各个机场优化配置航班数量、时刻与机型,达到减少枢纽机场拥堵的目的。由于多机场与单机场在航班与时刻优化方面存在极大的不同,单机场旅客需求与航班的差异是一维的,而多机场旅客需求与航班的差异却是二维的,存在空间与时间二维的差别,从而求解处理更为困难。本文根据航班实际运行的情况,放弃聚类算法收敛严格的数学要求而是根据时隙最小间隔要求设定算法收敛条件,建立了基于机场群运行方式的航班时刻与频率优化模型,并与单机场独立运行方式下的结果进行对比。

1 优化模型

1.1 问题假设

在单一机场,如果不考虑票价,旅客在众多航班中选择搭乘的目标是使得自己预期的出发时刻与航班计划出发时刻之间尽可能短。航空公司加大航班频率虽然可以缩短2种时刻的差距,但是会造成枢纽机场拥堵从而产生航班延误。在机场群运行方式下,旅客可以选择异地搭乘,航空公司可以通过对旅客需求进行引导,将分散在各个机场的需求汇集在一起。由于旅客需求集中能够促使客座率上升,驱动航空公司采用大型客机满足旅客需求。但是旅客异地乘坐航班就需要考虑地面交通花费的时间,因而产生出2个基本概念:旅客出发损失时间为旅客计划出发时刻与实际出发时刻的差值;旅客到达损失时间为航班延误。

旅客选择异地或本地乘机时,出发时间损失会表现出很大的区别。机场群内各个机场到达同一目的地的航班的航班延误是基本相同的,这是因为延误主要来自于目的地机场出现的流量控制,同一方向的航班受流控影响无明显差异,因而旅客到达损失时间无差异。

为了简化模型,做出如下假设:机场群内各个航

班票价无差异;机场群内各个机场起降条件相同,且都只有单一跑道;旅客选择出发损失时间最小的航班^[15],如果存在相同出发损失时间的航班,旅客按照宁早勿晚原则选择航班;所有旅客需求均能得到保证;航班存在客座率最低限度。

1.2 问题描述

各个机场的旅客需求是离散的,一般可以将其归纳在一个很小的时间段内,因此,可以将其抽象为一个需求点。设置航班时,让各个需求点的旅客实现与预期的出发时刻的差距最小。采用逆向思维的方法,可以将旅客需求点归类,然后在类中心设置航班,以这样的方式可以精确地反映出航班的设置符合旅客的需求,并且以聚类的方法在求解上更高效且更易实现。根据以上假设与聚类方法的要求,建立的数学模型为

$$\min Z = \sum_i \sum_j \sum_p u_{ijp} x_{ijp} + \sum_i D_i f\left(\sum_i \sum_j \sum_p x_{ijp}\right) \quad (1)$$

$$\sum_p x_{ijp} \leq 1 \quad (2)$$

$$\delta c_p \leq d_{ijp} \leq c_p \quad (3)$$

当 $x_{ijp} = 1$ 时,有

$$\sum_i \sum_j \sum_p d_{ijp} = \sum_i D_i \quad (4)$$

$$d_{ijp} = \sum_m \sum_n s_{imjn} \quad (5)$$

$$u_{ijp} = \sum_m \sum_n s_{imjn} t_{imjn} \quad (6)$$

式中: Z 为目标函数值,是旅客出发损失时间与到达损失时间之和; x_{ijp} 为 0-1 决策变量,当在机场 i 时刻 j 设置机型 p 时, x_{ijp} 为 1,否则为 0; u_{ijp} 为搭乘航班 x_{ijp} 的旅客出发损失时间; $f\left(\sum_i \sum_j \sum_p x_{ijp}\right)$ 为旅客到达时间损失函数,其与航班总量 $\sum_i \sum_j \sum_p x_{ijp}$ 相关,到达的航班总量越大,则每个航班的延误越长,旅客到达时间损失函数难以用一个精确的函数表达式描述,根据历史统计资料的归纳可以近似用分段函数表示; d_{ijp} 为航班 x_{ijp} 的旅客人数; s_{imjn} 为由机场 m 时刻 n 旅客需求汇集到机场 i 时刻 j 的旅客需求; t_{imjn} 为旅客由机场 m 时刻 n 旅客需求汇集到机场 i 时刻 j 的旅客出发损失时间; c_p 为机型 p 的座位数量; δ 为最低客座率; D_i 为机场 i 的旅客需求。

式(1)保证旅客总损失时间最小;式(2)保证在任意机场的任何时刻最多只能有一个航班;式(3)保

证归集到航班的旅客人数应大于最低上座数量且不超过航班座位数量;式(4)保证所有的旅客需求都获得满足;式(5)保证航班 x_{ijp} 的旅客需求由来自各机场不同时刻的旅客需求构成。

2 模型算法

式(1)中 u_{ijp} 的取值取决于航班的设置,所以是 x_{ijp} 的函数。在 x_{ijp} 取值未确定的情况下, u_{ijp} 的取值难以确定。每给定一个解 x_{ijp} , 需要重新计算 u_{ijp} , 会造成求解的计算量过大。本文选择数据挖掘技术中的 k -means 聚类算法, 可以大大减少 u_{ijp} 的计算量。

2.1 基于 k -means 聚类算法的优化方法

聚类算法的 3 个关键要素分别是: 样本点、距离计算公式与类中心点^[16]。

样本点: 也称需求点, 对于机场群内的任一个机场在某一个时刻的需求, 可以采用变量 s 进行描述, s 中 3 个元素为 s_x, s_y, s_z 。 s_x 为样本点所处的机场; s_y 为样本点所在时刻; s_z 为样本点所包含的旅客需求量。

类中心点: 用变量 c 描述, c 中元素为 c_x, c_y, c_z 。 c_x 为类中心点所处的机场, 用机场编号标示; c_y 为类中心点所在的时刻; c_z 为类中心点的旅客需求量。

需求点与类中心点之间的距离见图 1。距离计算公式为

$$d_s = \begin{cases} |s_y - c_y| & s_x = c_x \\ s_y - c_y + t(s_x, c_x) & s_x \neq c_x, s_y \geq c_y \\ \max\{|s_y - c_y|, t(s_x, c_x)\} & s_x \neq c_x, s_y < c_y \end{cases} \quad (7)$$

式中: d_s 为需求点与类中心点的距离, 实际上是需求点与类中心点的时刻差异; $t(s_x, c_x)$ 为 2 个机场地面交通时间。

需求点 s 到各个类的中心点的距离反映了旅客自己期望出行时间与航班出发时间的差距。任意一个需求点的归类取决于需求点 s 与类中心点的远近

程度。

需求点 s 到类 1 中心点的距离为 150 min, 需求点 s 到类 2 中心点的距离为 120 min, 即相当于需求点 s 的旅客要在机场 B 的 8:00 出发经过 60 min 的地面运输时间才能赶上机场 A 的 9:00 航班, 需求点 s 到类 3 中心点的距离为 90 min, 即相当于需求点 s 的旅客要在机场 B 的 10:30 出发经过 60 min 的地面运输时间就能赶上机场 C 的 11:30 的航班。如果机场 B 与机场 C 之间的地面距离时间为 120 min, 那么需求点 s 到类 3 中心点距离为 120 min, 因为此时旅客需要 9:30 出发, 即需求点 s 归属于类 3。

类 k 的中心点可表示为

$$\begin{cases} c_{kx} = \frac{\sum_s s_x s_z}{c_{kz}} \\ c_{ky} = \frac{\sum_s d_{sx} s_z}{c_{kz}} \\ c_{kz} = \sum_s s_z \end{cases} \quad (8)$$

式中: c_{kx} 为类 k 的中心点所属机场的编号; c_{ky} 为类 k 的中心点的时刻; c_{kz} 为类 k 中心点的旅客需求量。如果计算时得到非整数值, 那么在聚类过程中需要对其进行整数化。整数化的方法是取最接近的整数值。

2.2 基于 k -means 聚类算法的算法流程

Step 1: 确定满足全部需求的最小航班数量(所有机场的需求叠加除以最大机型座位数量)作为初始的聚类下界类数 k_0 , 最大航班数量(所有机场的需求叠加除以最小机型座位数量)作为聚类的类数上界 k_1 , 定义初始的旅客出发时间损失与到达损失之和为 g , g 的初始值充分大, 初始类的个数为 $k, k = k_0$ 。

Step 2: 随机确定 k 个类的中心点。

Step 3: 将距离最近的所有需求点归入某一类别, 依据每类的全部样本点重新计算该类的中心点。重复这一步聚直到所有类的类中心点前后二次的结

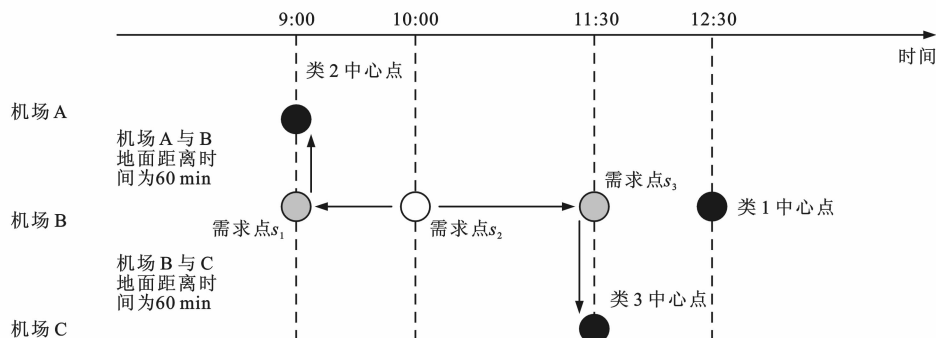


图 1 需求点

Fig. 1 Demand points

果机场相同且时刻差距小于 3 min(航班起飞时隙最短间隔为 3 min),或是聚类达到限定的次数(本文采用 100 次),对于需求量过小的类(类需求量小于最小机型的最低客座率要求)将其类中的需求点归入其他各自最近的类。

Step 4: 对于每一个需求类,根据类的旅客需求数量配置最适宜的机型。如果类的旅客需求数量超过了最大的机型,就安排多个航班。各个航班的机型选择应该使得航班总座位数量既满足需

求又不浪费座位。如果每个类只需要一个航班,将航班置于类中心点。如果每个类需要 n 个航班,则将航班安排在类中心点与类中心点最接近的 $n-1$ 个时刻上。

Step 5: 计算实际的旅客出发损失时间与到达损失时间之和 g' , 如果 $g' \leq g$, 保存类中心点与航班配置方案。如果 $k < k_1$, 则令 $k = k + 1$, 转 Step 2, 否则退出。

基于 k -means 聚类算法的算法流程见图 2。

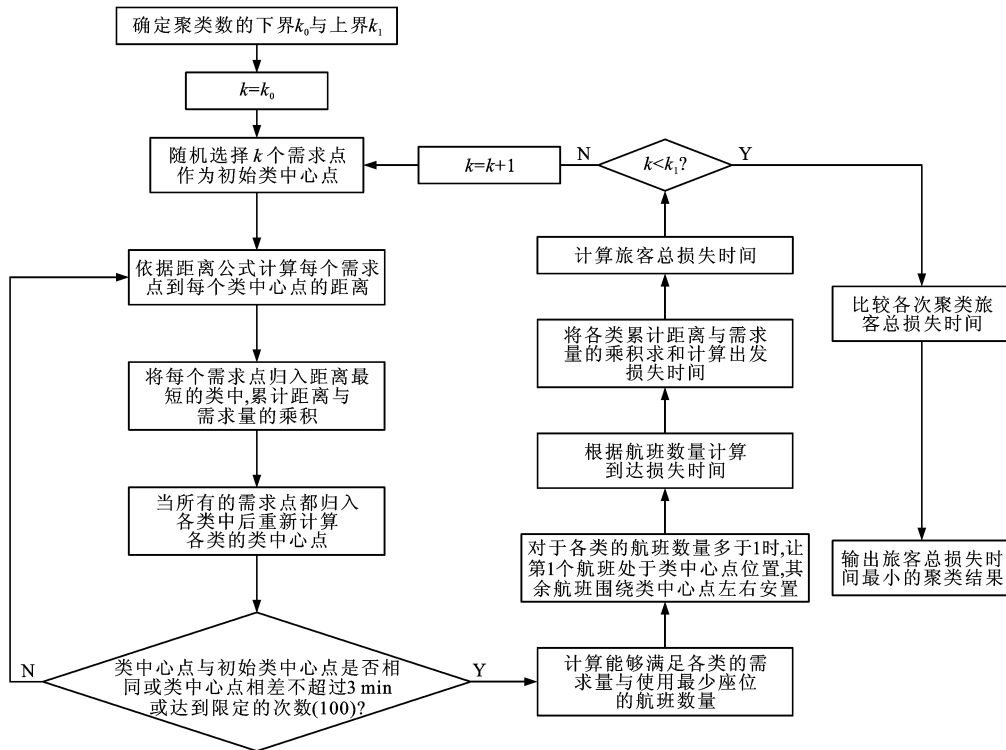


图2 算法流程

Fig. 2 Algorithm flow

3 计算结果分析

中国长三角地区已经形成了一个机场群,该机场群包含南京禄口国际机场、常州奔牛国际机场、无锡苏南硕放国际机场、上海虹桥国际机场、杭州萧山国际机场等 5 个机场,编号分别为 A、B、C、D、E。上海浦东国际机场的主要功能是国际航班的出发与到达,因此,未将其放入机场群之中。这 5 个机场之间具有极为发达的地面交通系统,并且每个机场都具有到达北京首都国际机场(H 机场)的航线。北京首都国际机场面临巨大的航班流量压力,机场容量已经达到饱和。目前北京首都国际机场航班不正常率达到 95%,急需扩大机场容量,但是北京首都国际机场容量的扩大受到机场用地与建设周期的影

响,在短期内很难扩大容量,因此,通过需求管理的方法,在保证需求满足的情况下有效降低航班数量是唯一的方法。机场群的出现为航班数量的减少创造了有利的条件。

在长三角机场群内,每个机场高峰时段内的旅客需求的分布见表 1。由于机场容量的不足主要体现在高峰时段的容量不足,因此,在数据的收集上主要采集机场群高峰时段内的各个机场的旅客需求。机场群内各个机场的旅客通过地面交通系统异地乘机花费的时间见表 2, H 机场的到达航班数量与航班平均延误见表 3。航班可以采用 3 种机型:机型 1 为 150 座级,机型 2 为 220 座级,机型 3 为 350 座级。航空公司要求的最低客座率为 50%。

首先假设所有航班都采用最小的机型运载旅

表 1 旅客需求分布

Tab. 1 Distribution of passenger demands

人

时间/min	机场 A	机场 B	机场 C	机场 D	机场 E	时间/min	机场 A	机场 B	机场 C	机场 D	机场 E
0~5	30	6	20	10	30	60~65	12	12	18	10	65
5~10	25	8	25	12	50	65~70	25	10	22	20	50
10~15	40	9	15	10	60	70~75	16	8	16	15	45
15~20	60	15	18	15	60	75~80	32	6	20	17	40
20~25	45	22	20	14	45	80~85	45	8	10	15	10
25~30	20	20	22	18	10	85~90	32	4	20	14	20
30~35	10	10	28	20	10	90~95	20	2	10	16	26
35~40	35	15	30	22	50	95~100	16	6	35	18	25
40~45	40	7	24	18	80	100~105	22	5	19	20	18
45~50	50	6	16	15	70	105~110	18	7	21	15	10
50~55	20	12	18	10	60	110~115	25	6	26	18	8
55~60	15	14	17	8	70	115~120	28	3	24	20	10

表 2 地面交通时间

Tab. 2 Ground traffic time

min

机场	A	B	C	D	E
A	0	30	50	75	100
B		0	20	45	70
C			0	25	50
D				0	25
E					0

表 3 航班数量与平均延误

Tab. 3 Flight amount and average delay

航班数量	15~18	12~14	7~11	1~6
延误/min	44	32	15	5

客,可以确定航班数量的上限为 17.92,即 17 个航班,其次假设所有航班都采用最大的机型运载旅客,可以确定航班数量的下限为 7.68,即 8 个航班。本文可行解的数量为 $5.772\ 72 \times 10^{28}$ 个,这是一个相当大规模的组合优化问题。依据本文算法,可以绕开在可行解中求解最优解的传统方法。机械群运行方式下的各个机场的航班时刻见表 4,旅客需求共分为 7 类,分类结果见表 5,旅客的总损失时间为 123 403 min,其中出发损失时间为 83 083 min,到达损失时间为 40 320 min,航班平均客座率为 89.6%。如果采用独立运行方式,即每个机场的旅客需求相互独立,各个机场的最优航班时刻见表 6。各个机场旅客需求分为 8 类,分类结果见表 7,旅客的总损失时间为 165 434 min,其中出发损失时间为 79 418 min,到达损失时间为 86 016 min,航班平均客座率为 86.43%。相对于独立运行方式,机场群运行方式更多地利用了运量大的机型。而大机型在

表 4 机场群运行方式下的航班时刻与频率

Tab. 4 Flight times and frequencies under operation mode of

multi-airports system

min

机场	A	B	C	D	E
机型 1	7		6		
机型 2			37,40		
机型 3	35,38	29		36	26,29,32

表 5 机场群运行方式下的分类结果

Tab. 5 Classification result under operation mode of

multi-airports system

分类	类 1	类 2	类 3	类 4	类 5	类 6	类 7
机场	A	A	B	C	C	D	E
时刻/min	35	7	29	37	6	36	29
旅客人数	526	155	215	422	78	348	944

表 6 独立运行方式下的航班时刻与频率

Tab. 6 Flight times and frequencies under

independent operation mode

min

机场	A	B	C	D	E
机型 1			6	36	5,27
机型 2	8,38		36,39	39	
机型 3	35	29			30,33

表 7 独立运行方式下的分类结果

Tab. 7 Classification result under independent operation mode

分类	类 1	类 2	类 3	类 4	类 5	类 6	类 7	类 8
机场	A	A	B	C	C	D	E	E
时刻/min	8	35	29	6	36	39	5	30
旅客人数	155	526	221	78	416	370	140	782

客座率水平高的情况下可以降低航空公司运行成本^[17]。充分利用机场群运行方式的特点,对机场群

的航班时刻进行优化,无论是航空公司还是旅客都可以从中获得更大的利益。但是,采用机场群方式并没有消除各个机场航班时刻中心化的特征。如果各个机场到达目的地机场的空中飞行时间相同,那么依然会造成目的地机场的拥堵。虽然这种特征更多的是由旅客需求分布所决定的,但是可以采用价格引导需求重新分布^[18],从而使航班时刻更进一步离散化进而减少拥堵发生性。从机场的角度来看,减少航班表面上减少机场的起降费收入,但是各个机场可以通过开设新的航线将其他机场潜在的需求汇集在一起实现差异化经营,这将有助于机场群内各个机场的市场定位与分工合作^[19],从而达到整体资源的最大利用。当然这不仅需要机场群内各个机场的充分协作,还需要民航管理层的大力推动。

4 算法对比分析

本文采用聚类分析算法可以在1 343 ns得出优化结果,说明该算法是一个高效的算法,但是算法的优越性并没有得到充分体现,因此,设计了遗传算法与聚类算法进行比较。遗传算法涉及以下内容。

(1)种子的规模。取种子的规模为100。

(2)基因的设置。以每个机场的每1 min作为一个基因,共有5个机场2 h,所以每个种子是由600个基因构成。基因按照顺序1~120位为第1个机场的基因,121~240为第2个机场的基因,依次类推。每个基因的取值范围为0、1、2、3。其中0表示此处不设置航班,1表示此处设置使用机型1的航班,2表示此处设置使用机型2的航班,3表示此处设置使用机型3的航班。

根据满足旅客需求所需要的最大航班数量与最小航班数量,随机产生介于两者之间的一个整数作为每个基因的航班数量。然后随机将航班分配在600个基因位置上并且随机取值为1、2、3,其余的基因位置的取值都为0。

(3)适应度函数。以目标函数值作为适应度函数。对于任意一个种子,如果其所有航班提供的座位数量不满足于旅客需求,那么增加1 000 000 min作为惩罚;如果某个航班的座位利用率低于最低座位限制,那么也增加1 000 000 min作为惩罚。通过需求点与航班的距离确定每个需求点归属于距离最近的航班,其前提条件是该航班还有空余座位。当一个需求点归属于一个航班后,该航班的剩余座位数量相应减小。

(4)基因的选择操作。选择种群中的适应度函

数最大值作为基础,其余种子的适应度值与适应度函数最大值作差作为该种子的选择参数,每个种子的选择参数与选择参数之和的比例作为每个种子的选择概率。依据轮盘赌方式从种群中选择种子构成下一代进化的种群。

(5)基因的交叉操作。以0.2的比例作为基因交叉操作的数量,从种群中随机选择2个种子,随机选择一个基因位,然后将2个种子在此基因位之后的基因进行互换产生2个新的种子。

(6)基因的突变操作。以0.01的比例作为基因突变操作的数量,从种群中随机选择一个种子,随机的选择一个非零值的基因位与一个零值的基因位,将2个基因位的数值交换产生一个新的种子。

(7)收敛条件。以种群进化的次数作为收敛条件,次数限制为300次。

采用遗传算法,可在42 828 ns得出优化结果,旅客的总损失时间为126 119 min,其中出发损失时间为85 799 min,到达损失时间为40 320 min。满足旅客需求需要11个航班,航班平均客座率为85.88%,航班的频率与时刻见表8。可见聚类算法在优化结果上具有优势。通过计算,可以发现遗传算法收敛性具有不稳定性,多数情况下各次运算的结果是不同的,而聚类算法的结果稳定,每次结果相同。

表8 应用遗传算法的计算结果

Tab. 8 Calculation result by using genetic algorithm min

机场	A	B	C	D	E
机型1					109
机型2		29	92	38,56	
机型3	15,105			105	3,36,84

聚类算法获得的航班频率与时刻同遗传算法获得的航班频率与时刻存在很大不同。其主要原因在于聚类算法过程中对于类的需求量大于航班座位数量时没有对该类进一步的分类。如果对该类再进一步的分类直到每一类上只能设置唯一的航班时,那么将会使航班呈现出离散化,其结果与遗传算法结果相似。

5 结 语

本文首次研究了机场群航班频率时刻优化问题,通过航班频率时刻优化可以在保证满足旅客需求的情况下,减少旅客的出行损失时间,可以有效减少满足旅客需求的航班数量。本文为通过减少枢纽机场航班量解决机场拥堵问题提供了重要的指导作

用,应当指出的是本文研究中没有考虑航空公司竞争因素对旅客需求的影响,应在后续的研究中进一步分析。

参考文献:

References:

- [1] 李 雄,刘光才,颜明池,等.航班延误引发的航空公司及旅客经济损失[J].系统工程,2007,25(12):20-23.
LI Xiong, LIU Guang-cai, YAN Ming-chi, et al. The economic loss of airlines and passengers caused by flight delays[J]. Systems Engineering, 2007, 25(12): 20-23. (in Chinese)
- [2] ABEVRATNE R I R. Management of airport congestion through slot allocation[J]. Journal of Air Transport Management, 2000, 6(1): 29-41.
- [3] BRUECKNER J K. Airport congestion when carriers have market power [J]. American Economic Review, 2002, 92(5): 1357-1375.
- [4] SENTANCE A. Airport slot auctions: desirable or feasible? [J]. Utilities Policy, 2003, 11(1): 53-57.
- [5] PELS E, VERHOEF E T. The economics of airport congestion pricing[J]. Journal of Urban Economics, 2004, 55(2): 257-277.
- [6] VERHOEF E T. Congestion pricing, slot sales and slot trading in aviation[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2010, 44(3): 320-329.
- [7] 刘光才,刘 雷.美国减少航班延误的有效途径及启示[J].技术经济与管理研究,2010(4):92-96.
LIU Guang-cai, LIU Lei. The effective ways to reduce flight delays in U.S. and their revelation to China[J]. Technoeconomics and Management Research, 2010(4): 92-96. (in Chinese)
- [8] 刘光才,庄文武.我国航班起降时刻分配和管理机制研究[J].经济问题探索,2008(4):185-190.
LIU Guang-cai, ZHUANG Wen-wu. Research on flights takeoff and landing time allocation and management mechanism in China[J]. Inquiry into Economic Issues, 2008(4): 185-190. (in Chinese)
- [9] BRUECKNER J K. Price vs. quantity-based approaches to airport congestion management[J]. Journal of Public Economics, 2009, 93(5): 681-690.
- [10] VAZE V, BARNHART C. Modeling airline frequency competition for airport congestion mitigation [J]. Transportation Science, 2012, 46(4): 512-535.
- [11] FLORES-FILLOL R. Congested hubs[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2010, 44(3): 358-370.
- [12] WANG Yan-jun, HU Ming-hua, SUI Dong, et al. Departure scheduling in a multi-airport system[C]//IEEE. 8th USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar. Napa: IEEE, 2009: 126-135.
- [13] 朱承元,王馨悦,刁 琳.珠三角地区航班延误的仿真分析[J].常州工学院学报,2011,24(5):36-40.
ZHU Cheng-yuan, WANG Xin-yue, DIAO Lin. Simulation analysis of flight delays in Pearl River Delta Region[J]. Journal of Changzhou Institute of Technology, 2011, 24(5): 36-40. (in Chinese)
- [14] WINDLE R, DRESNER M. Airport choice in multiple-airport regions[J]. Journal of Transportation Engineering, 1995, 121(4): 332-337.
- [15] TAM M L, LAM W H K, LO H P. Modeling air passenger travel behavior on airport ground access mode choices[J]. Transportmetrica, 2008, 4(2): 135-153.
- [16] 杨广全,朱昌明,王向红,等.基于粒子群 k 均值聚类算法的电梯交通模式识别[J].控制与决策,2007,22(10):1139-1142.
YANG Guang-quan, ZHU Chang-ming, WANG Xiang-hong, et al. Elevator traffic pattern recognition based on particle swarm optimization k -means clustering algorithm[J]. Control and Decision, 2007, 22(10): 1139-1142. (in Chinese)
- [17] WEI Wen-bin, HANSEN M. Cost economics of aircraft size[J]. Journal of Transport Economics and Policy, 2003, 37(2): 279-296.
- [18] MEYER M D. Demand management as an element of transportation policy: using carrots and sticks to influence travel behavior[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 1999, 33(7/8): 575-599.
- [19] 王汝昕,何秋钊,曾 灏.基于TDM策略的支线机场资源需求分析与预测探讨[J].中国民航飞行学院学报,2011,22(4): 16-19.
WANG RU-xin, HE Qiu-zhao, ZENG Hao. Analysis on requirement and prediction of feeder airport resources based on TDM[J]. Journal of Civil Aviation Flight University of China, 2011, 22(4): 16-19. (in Chinese)