

文章编号:1005-0523(2018)06-0048-08

基于多阶段动态组合拍卖的联盟舱位分配研究

顾颖菁,周海花

(南京晓庄学院商学院,江苏 南京 211106)

摘要:收益分配方式的不同决定了航空公司对于不同航段舱位的认知价值不同,承运航空公司决定是否承运,不在于市场航空公司所接收到旅客请求票价的高低,而在于它所能分配到的收益的多少,收益分配方式的不同会影响舱位分配的优化结果。本文抛弃了原有先确定收益分配方式再进行舱位分配的模式,以航空公司对航段舱位自身的认知价值进行舱位分配。将联盟看作拍卖者,各航空公司作为竞拍者,联盟航线上的舱位看作商品,建立基于多阶段动态组合拍卖的航空联盟舱位分配模型,得到航空联盟收益最大化下的舱位分配,算例分析表明,该方法可解决航空联盟内各航空公司在不同航段上的舱位分配问题,具有实用性与创新性。

关键词:航空运输;舱位分配;组合竞拍;航空联盟;收益管理

中图分类号:F562

文献标志码:A

随着经济的全球化发展,众多航空公司为了扩大自己的航空网络,提高客座率,通常会加入航空联盟,在航空联盟协议的基础上进行合作。如何分配和控制航空联盟中各成员公司的舱位,使得航空联盟收益最大化,是目前航空联盟以及各航空公司面临的重要问题。

为了研究航空联盟网络的舱位容量分配和控制问题,Talluri 和 Van^[1]提出了基于动态规划公式的最优容量控制策略。由于状态空间的维度效应,最佳策略的实现对于网络收益管理问题是不可能的,因此建立了近似确定性和概率数学模型,找到分配给每个 ODF 的舱位数量,以获得期望收益最大化。Netessine 和 Shumsky^[2]研究了航空公司在水平和垂直竞争中的舱位分配问题,使用水平竞争描述航空公司经营相同航线的竞争,垂直分配描述航空公司互补航线竞争。在水平竞争的情况下,航空公司观察到的需求是根据竞争对手的预订限制来建模的,因为被拒绝的客户会被竞争对手被视为额外需求,结果显示航空公司在竞争的情况下为高票价客户预留更多的座位。垂直竞争的分析仅限于两个票价等级,每家航空公司单独确定单航段和航线行程的预订限制,结果表明这种方法限制接受低票价旅客的数量。Belobaba^[3]以及 Darot^[4]研究了在网络联盟中通过共享竞标价格的方法进行收益管理,Darot 对航空联盟进行了仿真分析,假设该联盟有两家航空公司,并在 O-D 市场中相互竞争,该市场的一半是自己实现中转,另一半是共享一个中心的代码共享运输网络,他研究了旅客选择行为的代码共享航线的问题以及非对称收益管理系统在联盟中的作用,得到的结论是,在基于航段的收益管理以及市场需求比较低的情况下,乘客的选择可以显著地影响航空联盟的收益,并且航空联盟收益的增加依赖于对代码共享的估值。De La Torr^[5]在代码共享原则下讨论了舱位分配方法,一个是运营商控制的固定或不固定的航运空间数量,区域空间代码共享未能被广泛使用,另一个是目前最常用的自由销售协议。他认为自动代码共享协议或者自由出售协议等动态分配方法比将固定数量的舱位分配给市场航空公司更能满足收益最大化的目的,还提出了高估代码共享对航空公司将造成潜在损失,建议按比例分配收入,以避免个体公司遭受损失。Topaloglu^[6]假设航空公司在联盟网络中独立进行座位控制决策,只有市场航空公司才能决定是否接受乘客的到达请求。他建立了单一航空公司库存控制的线性规划

收稿日期:2018-06-19

基金项目:南京市重点学科博士应用经济学(培育学科)学科项目(宁教高师(2017)7号)

作者简介:顾颖菁(1988—),女,讲师,主要研究方向为航空联盟收益管理,国际物流管理。

模型,通过使用对偶方法制定航空公司的收益分配额。Transchel 和 Shumsky^[7]为航空联盟中,承运平行、可替代航班提出了封闭环动态定价博弈模型。Waldemar 和 Alf^[8]提出了航空联盟内,将航空公司作为竞争者进行收益管理行为的优化模型,模拟了两种竞争形式,可替代的水平竞争以及两个竞争对手代码共享协议承运相邻连接航班的垂直竞争,通过纳什均衡迭代算法得到,代码共享增加了两种竞争者的收入,增加的幅度随着网络以及平均需求的增加而降低。王永祥等^[9]研究了 PPP 项目超额收益分配问题,他们认为传统的收益分配模式,无法有效调动各参与方的积极性。因而在现有研究的基础上,引入风险偏好和互惠偏好,结合市场需求,建立与之相应的超额收益分配模型。使用纳什均衡方法,促使投资方为获得更多的收益,充分发挥 PPP 项目的经济和社会价值。

1 分解动态组合拍卖模型

1.1 问题描述

航空联盟成员的合作,一般建立于双边或者多边协议上,从收益管理角度来看,如何制定联盟成员间的舱位分配使得联盟收益最大化是航空联盟中最重要的问题之一,由于反垄断法以及技术上的不支持,导致各航空公司无法掌握合作航空公司的舱位等级及旅客需求。基于组合拍卖的航空联盟舱位分配是将航空联盟里各航空公司的舱位总数看作航空联盟的资源(商品),各成员公司通过组合拍卖的方式竞拍得到一组最优商品组合,以达到航空联盟收益最大化,竞拍得到的商品组合为分配给该航空公司不同航段的舱位数。

组合投标方法计算较为复杂,竞标人被要求去列举所有自己的估价分配,这是一个难解的 np 整数规划问题,当模型中的商品有 n 个时,决策变量为 n^2 量级,计算量将非常大,虽然有效的算法可以克服这一难题,但并不是一件有效率的事情,因此针对于航空联盟舱位分配问题,提出了分解动态组合拍卖模型。将航空联盟的舱位分配进行分解,在航空联盟共同承运的航线上,如图 1。

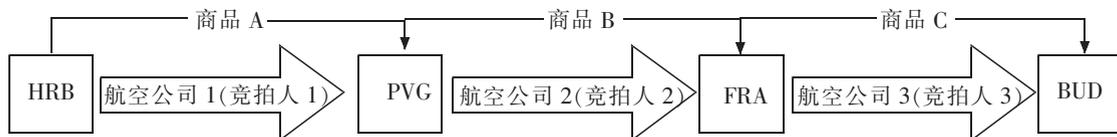


图1 航空联盟航线

Fig.1 Itinerary of airline alliance

根据图 1,当每个航节上只提供一个舱位时,航空联盟作为拍卖人,提供的商品为 $\{A, B, C\}$,由于相邻的航节才能构成航段,因此竞拍人竞拍的商品组合有 $\{A\}, \{B\}, \{C\}, \{A, B\}, \{B, C\}, \{A, B, C\}$,将航空联盟舱位分解为若干个这样的组合,进行求解。

1.2 参数含义与假设条件

N 表示航空联盟里有几家航空公司,也表示一条航线上有 N 个商品; n 表示第几家航空公司, $n \in N$,也表示第几个航节; C_n 表示第 n 家航空公司的舱位数; M 表示航空公司一共有 M 个策略, $M=C_2^N$; m 表示航空公司的第 m 个策略, $m=1, 2, \dots, M$; x_n 表示航段 n 上剩余的座位数,可以表示为: $\vec{x}_n \equiv \{x_n^{C_n}, x_n^{C_n-1}, \dots, x_n^1\}$; k 表示第几次进行组合投标, $k=\min\{C_1, C_2, \dots, C_N\}$; y_n^m 表示第 n 家航空公司第 m 个对应策略已经入选了 $y-1$ 次,期望第 y 次入选; $b_n^m(y)$ 表示第 n 家航空公司第 m 个对应策略在 y 次入选下的报价; R 表示整个联盟通过拍卖舱位数的收益; u_n^m 表示第 n 家航空公司的第 m 个对应策略是否入选,是 0-1 变量; \tilde{b}_n^m 表示每个相同元素的竞标里,竞标价格最大的标; G 表示经过数据处理后的商品集合; M 表示经过数据处理后有竞争力的竞标数; s_m 表示对应的标元素; P 表示一个染色体, $P=\{s_m\}$; e_{\min} 表示一个极小的数。

本模型建立在以下假设条件上:

- 1) 联盟内的每个航空公司必须且只承运一个航节;
- 2) 航空联盟实行代码共享,即各成员可以出售其他航空公司的舱位;
- 3) 各航空公司只知道本公司的票价等级和旅客需求;

4) 航空联盟作为第三方,可以看到各航空公司未加入航空联盟前的舱位销售数据,根据反垄断法,不得透露给其他航空公司。

1.3 模型建立

航空联盟对一条航线上的商品进行第一次组合拍卖时,目标函数为航空联盟收益最大化,得到

$$\max R_1 = \sum_{n=1}^N b_n^m(1) \times u_n^m \quad (1)$$

计算可以得到竞标最优解,将入选策略集记成 $\{u_n^m \dots\}$,集合元素小于等于 n ,第二次组合拍卖时,已经入选的策略再次投标时,投标价格转化为 $b_n^m(2)$,则

$$y_k = y_{k-1} + u_{n(k-1)}^m \quad (2)$$

航空联盟总收益为

$$E(R_k) = R_{k-1} + \max \left[\sum_{n=1}^N b_n^m(y_{nk}^m) \times u_n^m \right] \quad (3)$$

动态组合拍卖模型可以写为

$$E(R_k) = R_{k-1} + \max \left[\sum_{n=1}^N b_n^m(y_{nk}^m) \times u_n^m \right] \quad (4)$$

$$y_k = y_{k-1} + u_{n(k-1)}^m \quad (5)$$

$$k = \min \{C_1, C_2, \dots, C_N\} \quad (6)$$

$$u_n^m = \{0, 1\} \quad (7)$$

2 模型计算

2.1 竞拍价格的确定

各航空公司在竞拍舱位时,由于每个航空公司的品牌价值、票价水平等等都不一样,旅客对各航空公司需求也不一样,并且由于反垄断法,各航空公司不知道其他航空公司对于不同组合舱位的竞拍价格,即买者之间存在着不完全信息。

对拍卖商品的最大愿意竞拍价格为其对组合舱位的预估价值,航空公司加入联盟后,可以预测出本航空公司对于不同航段的多舱位等级下新的旅客需求,用 EMSR 方法计算出本航空公司对于组合舱位的期望价值,作为组合竞标价格。

2.2 启发式遗传算法

该模型计算的难点在于计算每个组合拍卖阶段的 u_n^m ,在本文的研究问题中,每一次拍卖的决策比较少,甚至可以用穷举的方法找出最优值,但是在动态过程中,需要计算的次数很多。本文针对一般情况,构造启发式遗传算法。

2.2.1 数据处理

分析一次组合拍卖,航空公司对于各个策略的投标价格如表 1。

表 1 策略与投标价格
Tab.1 Strategies and bid prices

组合	航空公司 1	航空公司 2	航空公司 3
A	600※	550	570
B	680	700※	660
C	500	520	550※
A,B	1 200	1 100	1 300※
B,C	1 360	1 390※	1 330
A,B,C	1 900	1 850	1 930※

元

表 1 中加※的数据是每个相同元素的竞标里,竞标价格最大的标,最优解必然是在里面产生,只需保留其最高价格的竞标,即

$$\tilde{b}^m = \max b_n^m \tag{8}$$

其它的竞标因无竞争能力而被遗弃掉。

2.2.2 编码设计

经过数据处理后,商品集合为 G ,有竞争力的竞标数为 M ,将对应的每个 $\tilde{b}^m (m=1,2,\dots,M)$ 的标元素设为 s_m 。染色体中的基因对应于不同的“标元素”,由于染色体中的基因数是不确定的,所以染色体的长度是可变的,并且基因的顺序没有实际意义,用下面的式子来表示一个染色体。

$$(s_1, s_4, \dots, s_k) \quad k \in [1, M] \tag{9}$$

对于下标集合 $(1, 4, \dots, k)$ 中任意的 $m \neq j$, 有 $s_m \cap s_j = \emptyset$, 并且 $\bigcup_{m \in (1, 4, \dots, k)} s_m = G$ 。

2.2.3 启发式初始化过程

启发式是指在一个“竞标的排列”中排在前面的竞标具有被选取的“优先权”,具体步骤如下:

Step1 随机产生一组竞标的排列;

Step2 保留排列中的第一个竞标,把它作为染色体中的第一个基因,令 $P = \{s_m\}$;

Step3 在竞标的排列中顺序选取余下的竞标,若 $P \cap s_j = \emptyset$, 则把 s_j 补充道染色体中,并令 $P = P \cup \{s_j\}$, 若 $P \cap s_j \neq \emptyset$, 进行下一步寻找;

Step4 重复步骤 Step3, 直至 $P = G$ 。

2.2.4 交叉、变异操作

交叉操作选择采用中间交叉的方法,即随机选择染色体的一个位置,将在此位置之前的基因和在此位置之后的基因合并为一个新染色体,即可行解。在变异操作中采用的是变位变异方法,即随机选择染色体的两个位置,将两个位置上的基因进行交换,产生新的染色体(可行解)。

2.2.5 适应度函数设计

目标子函数求最大值,假设子函数为 $f(x)$, 因此染色体的适值定义为

$$F(x) = f(x) - e_{\min} \tag{10}$$

式中: e_{\min} 是个比较小的数, $F(x) > 0$ 。

2.3 动态算法步骤

Step1 输入初始值:① 各公司对于不同航段的票价等级与需求;② 各航空公司的舱位总数。

Step2 生成各公司的策略集,计算对应策略下的报价;

Step3 计算每个组合拍卖下是最优解;

Step4 根据最优解得到下一次的组合拍卖中的策略报价;

Step5 重复 Step3 和 Step4;

Step6 剩余的舱位重复 Step2~Step4。

流程图如图 2。

3 算例分析

3 家航空公司加入航空联盟,分别依次承运哈尔滨(HRB)—上海浦东(PVG)—法兰克福(FRA)—布达佩斯(BUD)航线中 3 个航节,飞机上可用商用舱位分别为 HRB—PVG250 个, PVG—

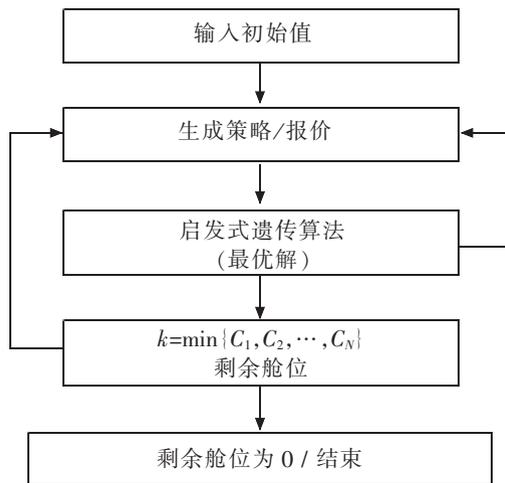


图 2 算法流程图

Fig.2 Flow chart of algorithm

FRA200个,FRA—BUD200个,3家航空公司可出售的航段共有6个,分别为:HRB—PVG,HRB—FRA,HRB—BUD,PVG—FRA,PVG—BUD,FRA—BUD。3个航空公司对于各航段的票价等级和旅客需求见表2~表4。

表2 航空公司1票价与需求

Tab.2 Fares and demands of Airline 1

航空公司	PVG		FRA		BUD	
	价格/元	需求	价格/元	需求	价格/元	需求
HRB	200	(15,3)	1 550	(0,0)	2 000	(2,1)
	175	(29,4)	1 330	(0,0)	1 695	(5,2)
	150	(30,6)	1 100	(3,1)	1 390	(7,2)
	125	(38,5)	890	(5,3)	1 085	(11,3)
	100	(55,7)	680	(8,3)	780	(15,3)
	75	(59,8)	470	(11,4)	475	(16,4)
PVG			1 400	(3,1)	1 850	(1,1)
			1 200	(8,3)	1 590	(3,1)
			1 000	(15,3)	1 330	(5,2)
			800	(21,4)	1 070	(6,2)
			600	(22,5)	810	(6,2)
FRA			400	(28,6)	550	(9,3)
					560	(0,0)
					480	(0,0)
					400	(0,0)
					320	(0,0)
				240	(4,2)	
				160	(6,2)	

表3 航空公司2票价与需求

Tab.3 Fares and demands of Airline 2

航空公司	PVG		FRA		BUD	
	价格/元	需求	价格/元	需求	价格/元	需求
HRB	200	(7,2)	1 500	(6,2)	2 000	(2,1)
	180	(13,4)	1 300	(12,3)	1 750	(7,2)
	160	(19,3)	1 100	(19,3)	1 500	(12,3)
	140	(21,4)	900	(25,4)	1 250	(17,3)
	120	(26,5)	700	(30,5)	900	(19,4)
	100	(33,5)	500	(34,6)	650	(24,4)
PVG			1 400	(6,2)	1 840	(3,1)
			1 220	(18,5)	1 580	(8,2)
			1 040	(23,7)	1 320	(12,3)
			860	(28,6)	1 060	(15,3)
			680	(30,5)	800	(22,4)
FRA			500	(33,6)	540	(26,3)
					550	(1,1)
					480	(2,1)
					410	(3,1)
					340	(3,1)
				270	(9,2)	
				200	(16,3)	

表 4 航空公司 3 票价与需求
Tab.4 Fares and demands of Airline 3

航空公司	PVG		FRA		BUD	
	价格/元	需求	价格/元	需求	价格/元	需求
HRB	200	(1,1)	1 550	(1,1)	2 000	(1,1)
	175	(1,1)	1 330	(5,1)	1 695	(1,1)
	150	(3,1)	1 100	(9,2)	1 390	(1,1)
	125	(6,3)	890	(13,2)	1 085	(3,1)
	100	(12,4)	680	(18,3)	780	(7,2)
	75	(15,4)	470	(25,4)	475	(8,2)
PVG			1 400	(3,1)	1 850	(4,1)
			1 200	(5,2)	1 590	(11,2)
			1 000	(9,2)	1 330	(19,3)
			800	(14,3)	1 070	(22,4)
			600	(15,3)	810	(25,5)
FRA			400	(18,4)	550	(28,4)
					560	(10,3)
					480	(17,3)
					400	(21,4)
					320	(25,3)
				240	(29,4)	
				160	(35,5)	

在启发式遗传算法运算过程中,将交叉概率设为 0.20,变异概率设为 0.08,通过动态的组合拍卖运算,用时 51 s,得到最优解,分配结果见表 5。

表 5 航空公司航段分配舱位数
Tab.5 Seat capacity allocation of Airlines' ODs

个

航段	航空公司 1	航空公司 2	航空公司 3
HRA-PVG	107	64	5
HRA-FRA	1	28	10
HRA-BUD	8	27	0
PVG-FRA	18	33	11
PVG-BUD	6	18	40
FRA-BUD	3	12	86

目标函数总收益为 342 788.62 元。

将航空联盟复杂的多航段舱位分配问题,转化为多阶段动态组合拍卖方法进行解决,设计的启发式遗传算法,可以精确计算得到各航空公司各航段所得的舱位数,计算实例表明该算法求解可行,并且计算效果良好。

4 总结

本文针对于较复杂的航空联盟里,计算量太大的问题,建立了多阶段动态组合拍卖模型,用动态的方式将规模较大的组合拍卖分解为多个小规模组合拍卖,在各公司信息沟通不完全,即不违反垄断法的前提

下,可以通过该博弈的方式最大化航空联盟的收益,得到各航空公司在不同航段上的舱位分配;设计的启发式遗传方法求解方法,减少了计算时间,并得到了精确的优化结果。实验结果表明,本研究建立的数学模型能够解决航空联盟复杂的舱位分配问题,提出的算法精确可行,能够满足实际要求。

参考文献:

- [1] TALLURI K T, VAN RYZIN G. An analysis of bid-price controls for network revenue management[J]. *Management Science*, 1998 (44):1577-1593.
- [2] NETESSINE S, SHUMSKY R A. Revenue management games: Horizontal and vertical completion[J]. *Management Science*, 2005 (51):813-831.
- [3] BELOBABA P P, JAIN H. Alliance revenue management in Practice: Impacts of bid price sharing and dynamic valuation[J]. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 2013, 12(6):475-488.
- [4] DAROT J F J. Revenue management for airline alliance: Passenger origin-destination simulation analysis[D]. Massachusetts Institute of Technology, 2001.
- [5] FERNANDEZ DE LA, TORRE P E. Airline alliance: The airline perspective[R]. Cambridge, Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Aeronautics and Astronautics, Flight Transportation Laboratory, 1999.
- [6] TOPALOGLU H. A duality based approach for network revenue management in airline alliances[J]. *Journal of Revenue & Pricing Management*, 2012, 11(5):500-517.
- [7] TRASCHEL S, SHUMSKY R A. Frenemies: Price competition between codesharing airlines[C]//International Annual Conference of the German Operations Research Society (GOR), Hannover (Germany), 2012.
- [8] WALDEMAR G, ALF KIMMS. Revenue management under horizontal and vertical competition within airline alliances[J]. *Omega*, 2015(6):1-28.
- [9] 王永祥, 胡致臻, 俞锦. 考虑市场需求的 PPP 项目超额收益分配研究[J]. *华东交通大学学报*, 2017, 34(5):127-133.

Capacity Allocation in Airline Alliances Based on Research on Multi-stage Dynamic Combinatorial Auction

Gu Yingjing, Zhou Haihua

(Commercial College, NanJing XiaoZhuang University, Nanjing 211171, China)

Abstract: The different sharing proportion of revenue for operating airline determined the different value of O-D, and the operating airline decided to receive a ticket or the marking airline depends on the revenue sharing proportion instead of the ticket fare. So the optimizing of seat allocation depends on the revenue sharing mechanism. The paper abandons the original pattern and the airlines allocate their seat capacity according to the seats' own value. Regarding the airline alliance as the auctioneer and seat capacity in an itinerary as lots, we establish the model of multi-stage dynamic combinatorial auction to allocate the seat capacity and get the maximize revenue of airline alliance. The numerical studies reveal solve the problem of the seat capacity allocation, which is practical and innovative.

Key words: air transportation; inventory allocation; combinatorial auction; airline alliance; revenue management