

航班座位控制模型实现与分析

王洪建

(厦门航空公司, 福建 厦门 361006)

✉wanghongjian@xiamenair.com



摘要: 收益管理是航空公司在航班销售期间合理分配有限的航班座位, 以期在竞争环境下获得最大收益的有效经营策略。本文首先介绍了座位分配常用的两种算法; 然后给出了算法的实现方法, 并特别强调了在不同应用环境下开发算法动态链接库的方法; 最后对两种算法的计算结果和计算时间进行了细致的比较分析。结果表明, 两种算法在座位分配效果上无明显差异, 但第二种算法有明显的计算时间优势, 可为航空公司业务实践提供指导。

关键词: 收益管理; 座位分配; 期望边际座位收益; 动态链接库

中图分类号: TP311.1 **文献标识码:** A

Implementation and Analysis of Flight Seat Control Model

WANG Hongjian

(Xiamen Airlines, Xiamen 361006)

✉wanghongjian@xiamenair.com

Abstract: Revenue management is an effective business strategy for airlines to reasonably allocate limited flight seats during flight sales in order to obtain maximum revenue in a competitive environment. Firstly, two commonly used algorithms for seat allocation are introduced. Then this paper proposes to realize an algorithm implementation method, and particularly emphasize the method of developing algorithm dynamic link library in different application environments. Finally, the calculation results and calculation time of the two algorithms are compared in detail. Results showed that there is no obvious difference between the two algorithms in seat allocation effect, but the second algorithm has obvious advantages in computing time and provides guidance for airline business practices.

Keywords: revenue management; inventory control; expected marginal seat revenue; dynamic link library

1 引言(Introduction)

中国民航运输业务随着国家经济规模的持续增长而迅速增长, 但也带来各航空公司之间持续不断的激烈竞争。航空公司之间竞争的焦点是服务与价格的组合竞争, 而解决这一竞争的重要技术之一是已被世界上超过80%的航空公司采用的收益管理理论与方法^[1]。收益管理的主要目标是在航班销售周期内, 针对固定数量的航班物理座位, 动态划分和控制不同价格的不同舱位的实际可利用座位数, 以使这种易逝类商品能分别以较高的价格出售, 达到航班收入最大化的目标^[2]。多年来, 这一方法为世界范围内的大中型航空公司每年增加数亿元的额外收入, 是航空公司经营过程中普遍采用的重要方法。在大数据及人工智能蓬勃发展的今日, 这一方法已经扩展到酒店、出租车、高铁等多个行业^[3], 产生了巨大的社会经济效益。

国内有关收益管理方法的研究, 早期更关注国外相关

概念的全盘引入^[4], 或基于基础概念在多航段应用场景下的扩展^[5]。由于座位分配的基础算法^[6-7]需要大量的积分运算, 在实际工程应用中有一定的实现难度, 且对运行时间要求很高, 因此国内航空公司主要采用国外的软件系统, 在核心算法的实现上缺少自主研发且实际投入使用的类似系统。

为此, 本文给出了两种主流座位分配算法的软件设计与实现方法, 并分析比较了这两种算法的适应场景, 为国产化同类软件系统的研究与开发进行了有益尝试。

2 航班座位控制算法(Flight seat control algorithm)

航班销售过程统计数据表明, 一般高价舱位旅客会晚于低价舱位旅客购票, 因此, 航班座位控制的关键是在已知剩余座位数和各舱位预测需求的情况下, 针对各舱位的可销售座位数的设定, 可销售座位数称为AU(Available Unit, AU)。假设航班目前共有100个剩余座位, 有Y、P、E共3个价格从高到低的舱位可供销售, 设定AU数依次为100、80、

50。该设定允许低价舱位旅客购买高价舱位机票,反之,则受到限制。当E舱位销售数超过50时,就要关闭该舱,仅容许销售Y和P两个更高价舱位,当P舱和E舱的销售数之和大于80(30+50)时,就要关闭P舱和E舱,仅保留Y舱销售。由此可见,AU的设置首先需要计算高价舱位对低价舱位的座位保护数^[6],此例中,Y舱对P舱和E舱的保护座位数为20,P舱对E舱的保护座位数为30。这样的座位控制策略可以保证预期高价舱位旅客的订座需求,从而达到航班销售收入最大化的目的。实际使用中,一般假定各舱位旅客的需求服从正态分布,先得到各舱位的订座需求预测结果,然后采用期望边际座位收益(Expected Marginal Seat Revenue, EMSR)模型进行各舱位的保护数计算。EMSR的方法最早由麻省理工学院的PETER提出,称为EMSRa模型^[6],后又经改进,称为EMSRb模型^[7]。这两种模型,特别是后期提出的EMSRb模型,已经成为收益管理的基准座位分配模型,在学术界得到长期关注,在产业界得到广泛应用。

2.1 EMSRa模型

EMSRa模型是一种广为采用的启发式座位保护数设定方法^[6]。假设当前剩余座位数为 C ,当愿意以 p_j 的价格购买第 j 个座位的旅客到达时,需要计算的是为剩余的价格低于 p_j 的舱位 $j-1, \dots, 1$ 预留多少个座位,反之就是第 j 个及以上舱位的保护座位数 y_j 。为此,针对每个 $k \in (j-1, \dots, 1)$,按照公式(1)计算 j 舱位针对 k 舱位的保护数 y_k^j ,其中 D_k 是舱位 k 预测得到的需求均值; $P(D_k \geq y)$ 表示舱位 k 的需求大于拟求解低价舱位最大可销售座位数 y 的概率,该概率的计算假定舱位 k 的需求服从 $N(\mu_k, \sigma_k^2)$ 的正态分布,一般使用预测算法得到的 k 舱位需求均值作为 μ_k ,预测算法同时会得到标准差 σ_k 。

$$y_k^j = \max \{y \in \{1 \cdots C\}; P(D_k \geq y) > \frac{p_j}{p_k}\} \quad (1)$$

对 $k = j-1, \dots, 1$ 按照公式(1)重复计算,可得到高价舱位 j 针对每个低价舱位的保护座位数 $y_{j-1}^j, \dots, y_1^j$ 。在实际编程中,公式(1)需要计算 $1 \cdots C$ 范围的每个值,选择使式中概率最大的值作为 y 。最后,按照公式(2)累加,即可得到舱位 j 的保护座位数 y_j 。

$$y_j = \sum_{k=1}^{j-1} y_k^j \quad (2)$$

反复重复上述过程,可得到所有高价舱对低价舱的保护数 $y_j, \dots, y_2$ 等。因为最低价舱位不需要保护,所以无须求解 y_1 。

2.2 EMSRb模型

EMSRa对各个高价舱位保护数的计算都需要计算其针对每个低价舱位的销售限制数,计算迭代次数较多,且迭代中需要多次积分进行反概率计算。而另一种常用的算法是EMSRb模型^[7],其基本思想是先将所有低于当前 j 舱位的低价舱位需求数累加,并按照各低价舱位需求计算低价舱的加权平均价格,得到一个整合后的虚拟低价舱位,设该虚拟低价舱位的加权平均价格为 $\bar{p}$,预测需求服从 $N(\bar{D}, \sigma^2)$ 正态分布。基于该虚拟舱位,可一次性计算 j 舱针对此虚拟低价舱的座位保护数。公式(3)和公式(4)分别是虚拟舱总需求和加权平均价格的计算方法,公式(5)是虚拟舱预测标准差的求解公式。在此基础上,依据公式(6)计算 j 舱的保护座位数 y_j ,以此类推,可得到所有高价舱位对低价舱位的保护座位数 $y_j, \dots, y_2$ 等。

$$\bar{D} = \sum_{k=1}^{j-1} D_k \quad (3)$$

$$\bar{p} = \frac{\sum_{k=1}^{j-1} p_k D_k}{\sum_{k=1}^{j-1} D_k} \quad (4)$$

$$\sigma^2 = \sum_{k=1}^{j-1} \sigma_k^2 \quad (5)$$

$$y_j = \max \{y \in \{1 \cdots C\}; P(\bar{D} \geq y) > \frac{p_j}{\bar{p}}\} \quad (6)$$

显然,EMSRb模型和EMSRa模型相比,可明显减少积分运算次数。

3 算法实现(The implementation of the algorithm)

3.1 算法实现流程

依据前面介绍的算法模型,假设给定Y、Q、E、P共4个从高价到低价的舱位。本文设计了EMSRa和EMSRb的模型计算流程图,分别如图1和图2所示。在图1的公式(1)计算和图2的公式(6)计算步骤,需要依据输入得到的各舱位需求预测的均值和标准差按照正态分布进行积分运算,以获得相应公式中的概率。

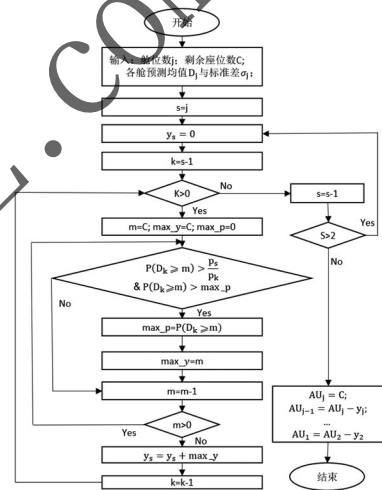


图1 EMSRa算法实现流程图

Fig.1 Flow chart of EMSRa algorithm implementation

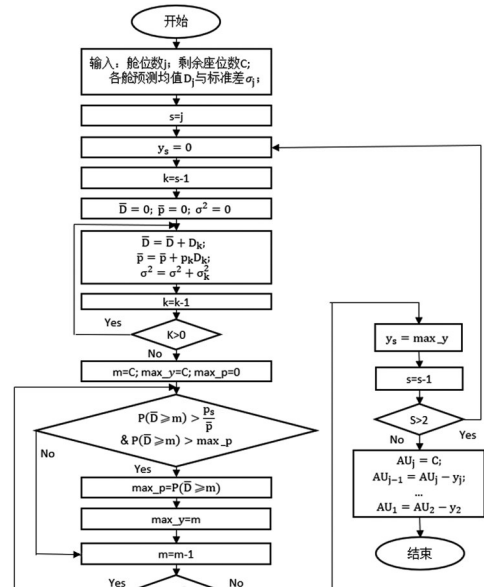


图2 EMSRb算法实现流程图

Fig.2 Flow chart of EMSRb algorithm implementation

3.2 动态链接库

由于上述EMSR算法实现较为复杂，且在航空公司的实际应用中往往需要在多个相关应用系统调用，满足不同编程语言环境使用的需求，因此，借鉴其他研究者在类似应用环境下的编程经验^[8-9]，本文采用动态链接库实现两个算法，并用C++编程实现。

动态链接库有宏定义和模块定义两种实现方法，宏定义在函数调用时，需在宿主语言进行预声明，使用起来较为麻烦；模块定义方式在宿主语言中的使用较为简洁，因此本文选择模块定义的方式实现。

动态链接库的编写过程如下：

(1)创建一个源文件作为定义的dll应用程序的入口，并在该源文件中依次用非托管的方法编写EMSR算法，然后将得到的座位分配数作为返回值依次输出；

(2)宏定义extern "C" __declspec(dllexport)，以便于在编写应用程序时通过DllImport调用非托管的C++编写的dll文件；

(3)编写def模块，并编译项目，在Debug目录生成dll文件；

(4)将生成的dll文件放到应用程序项目文件夹下bin目录中的Debug目录下；

(5)在应用程序中添加对“System.Runtime.InteropServices”的引用，以调用DllImport；

(6)用DllImport作为C#中对C++编写的dll文件的导入入口特征，并通过static extern与dll文件中宏定义的extern "C"进行对应，完成对动态链接库的调用。

4 算法分析与比较(Algorithm analysis and comparison)

为了比较算法的有效性，本文选取三种典型情况进行计算结果分析。取价格从高到低Y、Q、E、P共4个舱位，总需求在下面说明范围内较小浮动，AU数(AUY、AUQ、AUE、AUP)为分别采用EMSRa和EMSRb算法得到的决策结果，即在航班剩余座位数已知的情况下，如何给上述4个舱位合理分配可销售座位数。座位分配遵从高价包含低价的原则，分配给低价舱的座位可同时被高价舱销售，因此，AUY、AUQ、AUE、AUP逐次变小。航班剩余的所有座位数都可供最高票价的Y舱销售，所以AUY等于航班当前剩余座位数。总收益指在AU数确定的情况下，航班上所有剩余座位能获得的期望座位收益总和，该值越大，说明AU数的分配越理想。

(1)情形1：在各舱价格差异较大、需求均匀增长的情况下，如Y舱价格高于2,000且其余各舱位价格差距大于500，各舱位需求从高到低在10、20、30、30左右，标准差在10%左右时，计算结果如表1所示。可见，两种算法的总收益无明显差异，EMSRa稍高。

表1 情形1分配结果表

Tab.1 Allocation result for case 1

EMSRa座位分配结果				EMSRb座位分配结果				总收益/千元		计算时间/ms	
AUY	AUQ	AUE	AUP	AUY	AUQ	AUE	AUP	EMSRa	EMSRb	EMSRa	EMSRb
143	132	108	36	143	132	107	33	153,874	155,599	1,537	865
158	131	94	64	158	131	92	66	180,568	180,771	1,683	892
143	101	78	40	143	101	77	42	183,207	182,903	1,530	837
158	148	143	120	158	148	145	118	124,337	124,134	1,629	837
143	128	51	9	143	128	52	12	195,793	194,068	1,596	822
143	140	88	51	143	140	89	52	153,874	152,960	1,601	817

(2)情形2：在各舱价格差异较大、高价舱与低价舱需求皆旺盛的情况下，如各舱价格同情形1，但舱位需求都在45左右变化时，计算结果如表2所示。此时可见EMSRa的P舱的分配数较EMSRb低，其E舱分配数比EMSRb稍高，但EMSRb的总收益稍高。

表2 情形2分配结果表

Tab.2 Allocation result for case 2

EMSRa座位分配结果				EMSRb座位分配结果				总收益/千元		计算时间/ms	
AUY	AUQ	AUE	AUP	AUY	AUQ	AUE	AUP	EMSRa	EMSRb	EMSRa	EMSRb
158	113	84	44	158	113	81	47	202,898	203,203	1,628	812
158	117	71	42	158	117	68	45	208,278	208,583	1,639	798
143	101	78	40	143	101	77	42	183,207	182,903	1,522	789
158	116	88	40	158	116	85	44	200,970	200,869	1,674	885
153	110	99	35	153	110	94	35	122,812	124,450	1,628	809
143	102	69	30	143	102	68	33	191,327	190,617	1,580	764

(3)情形3：价格同上情况下，高价舱需求较少，低价舱需求旺盛时，EMSRa总收益稍高，如表3所示。各舱位需求从高到低在3、4、10、80左右变动。

表3 情形3分配结果表

Tab.3 Allocation result for case 3

EMSRa座位分配结果				EMSRb座位分配结果				总收益/千元		计算时间/ms	
AUY	AUQ	AUE	AUP	AUY	AUQ	AUE	AUP	EMSRa	EMSRb	EMSRa	EMSRb
143	142	140	136	143	142	142	138	56,625	55,500	1,537	702
153	151	147	138	153	151	149	137	96,710	96,140	1,588	723
155	154	150	138	155	154	152	139	76,072	75,036	1,601	795
143	142	140	135	143	142	142	138	56,875	55,500	1,539	712
143	142	140	134	143	142	142	134	114,250	113,000	1,542	709
153	152	144	133	153	152	145	133	110,564	110,037	1,617	816

从上述分析可见，两种模型在各种情况下总收益相距甚微，但计算时间相差较大。上述情形2和3，是航空公司实际运行中经常面临的场景，且情形2对最低价舱位预留座位数较少，次低价舱位则保留了较多的座位数，这不利于需求整体旺盛时，和其他航空公司的低价竞争，因此应用场景下建议航空公司采用EMSRb算法。

5 结论(Conclusion)

针对航空公司收益管理中航班剩余座位分配的两种算法EMSRa和EMSRb，本文首先介绍了两种算法的计算原理；然后，分别给出了两种算法的实现流程，并特别强调了用C++语言将算法编写为动态链接库的方法，以期在不同应用开发环境下得到软件复用。本文在不同应用场景下仿真比较了两种算法的座位分配结果和计算实践，结果表明，两种算法的座位分配结果并无明显差异，但后者的计算效率明显优于前者。本文的研究结果可直接为航空公司相关业务实践提供指导。

(下转第25页)