

基于风险规避航空货运舱位优化 控制 RAMDP 模型

衡红军,马明华

(中国民航大学 计算机科学与技术学院,天津 300300)

摘要:航空货运订舱存在不确定性,航空货运收益管理决策者不仅要考虑期望收益最大化,还要考虑决策风险,需要通过风险规避降低风险损失。针对不确定性的舱位优化控制问题,利用马尔可夫决策方法,结合期望效用理论的冯·诺依曼-摩根斯坦效用函数,构建了基于风险规避的有限阶段马尔可夫决策 RAMDP 模型并给出了相应的算法过程。与基于目标期望收益最大化的模型相比,模型不仅具有结构化舱位保护策略,而且通过调整风险规避因子可为决策者提供不同的决策选择。算例分析说明了该模型的适用性。

关键词:航空货运;舱位控制;风险规避;马尔可夫决策过程

中图分类号:F560

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)03-0085-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.03.022

RAMDP Model of Air Cargo Inventory Control Based on Risk Aversion

HENG Hong-jun, MA Ming-hua

(College of Computer Science and Technology, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: With uncertainty of air cargo booking, air cargo revenue decision-makers don't only consider maximizing expected revenue, but also consider the decision-making risk, policy makers need risk aversion to reduce the risk loss. With Markov decision-making method and von Neumann-Morgenstern utility function of expected utility theory, a finite stage Markov decision processes model based on risk aversion, RAMDP for short, is established for the air cargo uncertain inventory control problem, also, the corresponding algorithm is given. Compared with the model based on the target expected revenue maximization, the model has not only structured protection strategy, but also through the adjustment of risk aversion factor, can provide decision makers with different decision-making choices. A numerical example is given to illustrate the application of the proposed model.

Key words: air cargo; inventory control; risk aversion; Markov decision processes

0 引言

航空货运收益管理是指航空公司通过对产品进行细分,对市场需求进行预测,利用超售、差别定价和舱位优化控制技术^[1,2]决定把货舱在最佳的时间以尽可能高的价格销售给适当的顾客。其中舱位优化控制是航空货运收益管理的核心内容,其实质是通过对货运需求和舱位进行优化组合,实现收益的最大化。国内航空货运收益管理研究还处于起步阶段,舱位优化控制方面研究的甚少,其中张永莉^[3]运用线性规划思想

构建了航空货运运力分配模型。这是一种静态的舱位控制模型,不能反映需求和剩余运力随时间的动态变化;桂云苗、朱金福^[4]构建了动态规划单航段货运舱位控制模型,该模型只适合于包板包箱的订舱行为,不适合于按照货物计费重量进行订舱的行为,而且该模型只考虑了收益最大化,没有考虑航空货运订单的不确定性给航班收益带来的风险。Braz^[5,6]构建了单航段航空客运舱位优化控制模型,模型采用马尔可夫决策过程,并且引入了风险规避,是一个有效的动态客运舱位解决方案,但是客运的订舱行为与货运的订舱行为不同,因为货运订舱行为中不仅仅是货物的非齐次泊松到达过程(NNHP),而且还涉及到货物重量随机性^[7],其构建的模型不适用于航空货运舱位优化控制问题。

文中以货物计费重量为标准将货物划分为多个等

收稿日期:2012-06-10;修回日期:2012-09-13

基金项目:科技部 863 重大专项(20060112A1037)

作者简介:衡红军(1968-),男,硕士生导师,副教授,博士,研究领域为民航信息系统设计与分析及智能信息处理等;马明华(1986-),男,硕士研究生,研究领域为智能信息处理技术。

级,针对订舱行为的不确定性,引入风险规避因子,采用马尔可夫动态决策方法(MDP),构建了风险规避有限阶段的MDP决策模型(RAMDP)。该模型不仅能反映需求与剩余舱位随时间的动态变化,具有结构化舱位保护策略,而且通过风险规避因子,为决策者提供了不同的决策选择。

1 问题描述

按照国际航协出版的《航空货物运价手册》(TACT),将货物以单位计费重量划分为多个等级。一般而言,中低等级货物的订舱行为往往会比高等级货物的订舱出现的早。如果不采取舱位控制策略,低等级货物会挤占所有舱位容量,导致中高等级货物没有舱位可用,从而降低航班的总收益;如果分配给高等级货物的舱位容量小于其需求量,将导致航班起飞时仍有剩余舱位没有被售出,造成航班货运收益率降低。如何将不确定性的舱位需求与有限的舱位容量进行优化组合,使得整个航班的货运收益最大化,是航空货运收益管理舱位控制研究的核心。

2 VNM 函数与风险规避

假设不确定性的交易带来的收益是随机变量 X , X 为 x_i 的概率为 $P_i, i = 1, \dots, n$, 而 X 为 x_i 时的效用为 $u(x_i)$, 那么该随机变量给决策者带来的期望效用是:

$$U(X) = E(u(x_i)) = \sum_{i=1}^n P_i u(x_i) \quad (1)$$

$U(X)$ 称为期望效用函数,也称作冯·诺依曼—摩根斯坦效用函数(VNM 函数)^[8~10]。

风险规避:决策者是风险规避的,只有当其效用函数 $u(x)$ 是单调非减的,并且期望收益效用 $U(X)$ 的增加率随 X 增加递减,即不等式 $U(E(X)) \geq E(U(X))$ 成立^[11]。风险规避的意义是决策者在考虑是否接受一个带有不确定的交易时,相对于接受另外一个更保险。航空货运货单的到达具有不确定性,一般而言,较高等级的货物订舱会比低等级货物的订舱晚,对于决策者而言,接收较早的低等级货物订舱比接收较晚的不确定的高等级货物订舱更保险,尤其是在实际货物订舱需求与货物需求预测有误的情况下,给高等级货物配置的舱位容量过多,会导致航班离港时出现舱位容量的损耗,带来收益损失。决策者通过采取一定程度的风险规避,可以提前接收能够带来确定收益的低等级货物,从而降低收益损失。

3 马尔可夫决策过程

马尔可夫决策过程(MDP)指决策者周期或连续地观察具有马尔可夫性的随机动态系统序贯决策,数

学表示为六元组: $MDP(N, S, A, (P_n), (v_n), R_0)$ 。

其中 N 表示决策过程的规划数, S 表示状态空间的集合, A 表示行动规则的集合, P_n 表示两个状态间的转移概率, v_n 表示收益函数, R_0 表示阶段 $n(n=0)$ 时收益的设置。整个决策过程从初始阶段开始,决策者根据当前阶段 $n(n \leq N-1)$ 观察到的状态 $s_n \in S$, 从可用的行动集中选用一个行动做出决策 a_n , 系统下一步(未来)的状态 $s_{n+1} \in S$ 是随机的,并且其状态转移概率 P_n 具有无后效性,决策者根据当前的状态,再作新的决策,依次反复地进行,直到 $n=0$ 决策完毕,最终得到决策的结果 $\pi = (a_{N-1}, \dots, a_1, a_0)$, 决策者所有可能的序贯决策构成集合 $\pi(\pi \in \pi^*)$ 。

4 有限阶段 RAMDP 决策模型构建

4.1 基于目标期望收益最大化(MER)的MDP模型

依MDP过程数学六元组描述,航空货运舱位优化控制MDP模型六元组具体描述如下:

1、 N :航班订舱开始时刻至离港时刻划分为 N 阶段,这体现了货运舱位优化控制MDP规划的大小。 $n=0, 1, \dots, N-1$ 为划分的各个阶段, $N-1$ 表示航班订舱开始阶段, 0 表示航班离港阶段。

2、 S :状态空间的集合, $S = \{(W, i, d_i) \in Z \times N_0 \times Z \mid W < W_N, Z \times N_0 \times Z \mid W < W_N, i \leq k, d_{\min} \leq d_i \leq d_{\max}\}$, W 表示航班剩余舱位容量(单位:公斤),在订舱开始阶段 $N-1$, 航班初始容量为 W_N 公斤; $i=0, 1, \dots, k$ 与 d_i 分别表示订舱行为中的货物等级与货物重量,以单位计费重量划分货物等级中,每个等级重量只在一定范围 $[d_{\min}, d_{\max}]$ 变化,并且各等级货物的重量 d_i 不会重叠,货物计费重量是整数,这样 S 是有限集; $i=0$, 即 0 等级货物表示没有任何等级货物到达且有 $d_0=0$; 一个状态 $(W, i, d_i) \in S$ 表示剩余舱位大小为 W , i 等级货物请求到达,申请重量为 d_i 。

3、 $A(W, i, d_i) = \{0, 1, \dots, d_i\}$, $\forall (W, i, d_i) \in S$, 在 (W, i, d_i) 状态下决策规则的集合, 0 表示在状态 (W, i, d_i) 不接收, d_i 表示接收 d_i 公斤货物。 $a_n \in A$ 表示对第 n 阶段的状态采取的决策。

4、 P_{in} : 状态转移概率。由第 n 阶段状态 (W, i, d_i) 转移到下一阶段状态 $(W - d_i, j, d_j)$ 的状态转移概率:

$$P_{in}((W - d_i, j, d_j) \mid (W, i, d_i)) = p_{in} G_i(d_i)$$

其中 p_{in} 表示第 n 阶段第 i 等级货物到达概率; $p_{0n} = 1 - \sum_{j=1}^k p_{jn}$, 表示在第 n 阶段 0 等级货物到达的概率; $G_i(d_i)$ 表示货物等级 i 且货重为 d_i 的概率; 状态转移概率的马尔可夫性在后面说明。

$$5、v_n(W, i, d_i, a_n) = \begin{cases} r_i, i = 0, 1 \\ a_n r_i, i > 1 \end{cases}, W > 0, i > 0, \text{表示}$$

第 n 阶段当前状态空间 (W, i, d_i) 采取决策 a_n 的收益函数; r_i 表示 i 等级货物的价格, 并且有 $r_0 < r_1 < \dots < r_2, i = 1$ 时货物以最小费用 r_1 计费。

6、 $R_0 = 0$, 航班离港阶段收益的设置 0。

基于 MER 的航空货运舱位优化控制 MDP 模型就是从初始决策阶段 $n = N - 1$ 状态开始, 到 $n = 0$ 序贯决策结束, 选择一个最佳的决策序列 $\pi = \{a_n, a_{n-1}, \dots, a_0\}, \pi \in \pi^*$, 使得期望总收益 R^* 最大化。

因此其目标函数 Bellman 等式为

$$R_\pi^* = \max_{\pi \in \pi^*} E_\pi \left[\sum_{n=1}^N v_n(s_n, a_n) + R_0 \mid s_n = (W, i, d_i) \right], (W, i, d_i) \in S \quad (2)$$

本模型的研究建立在以下假设的基础上:

(1) 订舱行为中各等级货物的到达过程是非齐次泊松过程, 各等级之间相互独立, 每个阶段的货物请求到达, 最多只有一个等级货物到达而且每一等级货物的重量分布服从正态分布。

(2) 不考虑订舱取消、超订及 NO-SHOW。

(3) 忽略拉货拒载成本。因为由上一个航班拉下的货物一般由下一个航班或者其他航空公司运载, 其成本比较小, 可忽略不计。

(4) 不考虑舱位空间的不确定性。

转移概率的无后效性说明:

本模型假定货物到达按照非齐次泊松过程到达, 非齐次泊松过程 $\{X_t, t \geq 0\}$, 其点发生的时间序列 $t_1, t_2, \dots, t_n, \dots$ 是个马尔可夫序列。货物的转移概率密度: $p(t_n \mid t_{n-1}) = \lambda(t_n) \exp\left\{-\int_{t_{n-1}}^{t_n} \lambda(x) dx\right\}$, 即货物的到达概率 p_{in} 只与当前的已到达时间点 t_{n-1} 有关(证明见文献[12]), $G_i(d_i)$ 表示货物等级 $i > 0$ 的货重为 d_i 的概率, 其是只与 d_i 有关与时间 t 无关的概率函数, 那么 MDP 模型状态空间转移概率 P_{in} 只与当前阶段 n 有关, 体现状态转移概率的无后效性。

对于式(2)的求解等价于递归地求 $R_\pi^* = R_{N-1}(W, i, d_i)$ 的最优解, 其中递归式为

$$R_n(W, i, d_i) = \max_{a_n \in \{0, 1, \dots, d_i\}} \{a_n r_i B + \sum_{j=0}^k p_{nj} \sum_{d_j=d_{\min}}^{d_j=d_{\max}} G_j(d_j) R_{n-1}(W - a_n, j, d_j)\}, (W, i, d_i) \in S \quad (3)$$

$$R_0(W, i, d_i) = 0, W \geq 0 \quad (4)$$

在第 n 阶段状态 (W, i, d_i) 时的决策为 a_n

$$a_n = \begin{cases} \min\{d_i, W - y_{n-1}(i)\}, W > y_{n-1}(i) \\ 0, W \leq y_{n-1}(i) \end{cases} \quad (5)$$

其中 $y_{n-1}(i)$ 为 i 等级在第 n 阶段的舱位容量保护数:

$$y_{n-1}(i) = \sup\{c \in N_0 : r_k < \Delta_{n-1}(i)\}, i \geq 2 \quad (6)$$

$$\Delta_{n-1}(i) = \sum_{j=0}^k p_{nj} \sum_{d_j=d_{\min}}^{d_j=d_{\max}} G_j(d_j) R_{n-1}(c, j, d_j) - \sum_{j=0}^k p_{nj} \sum_{d_j=d_{\min}}^{d_j=d_{\max}} G_j(d_j) R_{n-1}(c-1, j, d_j) \quad (7)$$

式(7)是在离港前 $n-1$ 阶段出售舱位时, 由于在第 n 阶段出售 1 公斤的 i 等级货物导致剩余容量减小带来的期望收益之差 $\Delta_{n-1}(i)$ 。

4.2 基于风险规避构建单航段的动态马尔可夫决策模型

由 4.1 基于 MER 的 MDP 模型及 VNM 函数构建 RAMDP, 模型在引入风险规避时采用 Kirkwood^[13] 提供的收益效用函数 $u\gamma(x) = -e^{-\gamma x}$, $\gamma(\gamma > 0)$ 表示风险函数的指数因子, 该 γ 负指数风险规避函数对于大多数风险规避情形成立, 并且 γ 因子越大, 风险规避性越大。

基于 RAMDP 模型的目标函数:

$$R_{\pi^*}^{\gamma} = \max_{\pi^* \in \pi^*} E_{\pi^*} \left[-\exp(-\gamma \left[\sum_{n=1}^N v_n(s_n, a_n) + R_0 \mid s_n = (W, i, d_i) \right]) \right], s_n \in S \quad (8)$$

效用函数 $u\gamma(x)$ 是单调非减的, 则风险规避 γ 下期望效用最大时可获得的收益是最大的。

对于式(8)的求解等价于递归地求 $R_{\pi^*}^{\gamma} = R_{N-1}^{\gamma}(W, i, d_i)$ 的最优解, 其递归式为:

$$R_n^{\gamma}(W, i, d_i) = \max_{a_n \in \{0, 1, \dots, d_i\}} \left\{ \exp(-\gamma a_n r_i) \sum_{j=0}^k p_{nj} \sum_{d_j=d_{\min}}^{d_j=d_{\max}} G_j(d_j) R_{n-1}^{\gamma}(W - a_n, j, d_j) \right\}, (W, i, d_i) \in S \quad (9)$$

$$R_0^{\gamma}(W, i, d_i) = -\exp(-\gamma \cdot 0), W > 0 \quad (10)$$

在第 n 阶段状态 (W, i, d_i) 时的决策变量

$$a_n = \begin{cases} \min\{d_i, W - y_{n-1}^{\gamma}(i)\}, W > y_{n-1}^{\gamma}(i) \\ 0, W \leq y_{n-1}^{\gamma}(i) \end{cases} \quad (11)$$

$W - y_{n-1}^{\gamma}(i) < d_i$ 时, $a_n = 0$ 为不可分批货物无法装载的限制条件。

各阶段货物等级 i 的舱位保护数, 由(12)式给出

$$y_{n-1}^{\gamma}(i) = \sup\{c \in N_0 : e^{-\gamma r_i} > \Delta_{n-1}^{\gamma}(i)\}, i \geq 2 \quad (12)$$

$$\Delta_{n-1}^{\gamma}(i) = \frac{\sum_{j=0}^k p_{nj} \sum_{d_j=d_{\min}}^{d_j=d_{\max}} G_j(d_j) R_{n-1}^{\gamma}(c, j, d_j)}{\sum_{j=0}^k p_{nj} \sum_{d_j=d_{\min}}^{d_j=d_{\max}} G_j(d_j) R_{n-1}^{\gamma}(c-1, j, d_j)} \quad (13)$$

4.3 算法步骤

1、计算货物计费重量等级级距:

$$df(i)=\begin{cases}r_{i+1}\cdot D_{\min}(i+1)/r_i,i\geqslant 2\\r_i/r_{i+1},i=1\end{cases}\quad(14)$$

其中级距是保证货物计费最低原则,同时保证各等级货重的无重叠,文中以划分级距之后的等级作为以下步骤的计算等级。

2、设定 γ 值,计算各等级在各阶段 n 的舱位保护数 $y_{n-1}^{\gamma}(i)$ 。

a: $n=1$,在航班离港之前的一阶段, $y_{n-1}^{\gamma}(i)=\begin{cases}0,i>0\\M,i=0\end{cases}$,其中 $M>W_N$,表示没有货物到达时,保证决策返回为 0。

b: $n>1$,对于最高等级 $i=1$, $y_{n-1}^{\gamma}(i)=0$, $i>1$,令剩余舱位容量 $c=1$,分别计算 $\sum_{j=0}^k p_{nj} \sum_{d_j=d_{\min}}^{d_{\max}} G_j(d_j) R_{n-1}^{\gamma}(c,j,d_j)$ 与 $\sum_{j=0}^k p_{nj} \sum_{d_j=d_{\min}}^{d_{\max}} G_j(d_j) R_{n-1}^{\gamma}(c-1,j,d_j)$,其中 $R_{n-1}^{\gamma}(\bullet,j,d_j)$ 由递归式(9)、(10)及决策式(11)求解,计算 $\Delta_{n-1}^{\gamma}(i)$,若 $e^{-\gamma r_i}>\Delta_{n-1}^{\gamma}(i)$, c 累加,重复 b 直到 $e^{-\gamma r_i}<\Delta_{n-1}^{\gamma}(i)$, $y_{n-1}^{\gamma}(i)=c-1$ 。

3、按照步骤 2 计算的舱位保护数及 NNHP 货物到达阶段,及货物重量进行决策接收。实际操作中以实际货物的到达进行决策。

5 算例分析

某航空公司运营北京(PEK)–东京(NRT)的航线,机型为波音 737–800 最大可用货舱容量为 5000 公斤,航协 TACT 计费重量及运价以计费最低原则划分的货物等级见表 1,mean 与 svar 是各等级货物重量的均值与标准差。考虑货物的到达为非齐次泊松过程,按照假定(1)及航空公司历史货物数据,可将定舱周期划分为 400 个阶段,从而可得到各等级各阶段的到达概率如表 2 所示,各等级货物的到达过程及货物重量如表 3 所示。

表 1 货物按计费最低原则划分的等级

等级	等级货重范围	价格	mean	svar
1	8 公斤以下	420 元	4	2
2	9 ~ 33 公斤	51.85 元/公斤	20	5
3	34 ~ 93 公斤	38.70 元/公斤	60	10
4	94 ~ 278 公斤	36.13 元/公斤	180	50
5	279 ~ 461 公斤	33.54 元/公斤	380	50
6	462 ~ 800 公斤	30.97 元/公斤	600	80

基于 MER 的 MDP 模型与 $\gamma=0.0001$ 时 RAMDP 模型计算的舱位保护的结果分别见图 1 和图 2。

由于按照 TACT 计费规定,min 等级即 1 等级货物的计费特征与其它 5 个等级不一致,实验结果显示第 2 等级计费重近似作为这 6 个等级的最高等级。舱位保护数的变化趋势显示对同一等级有 $0\leqslant y_1(i)\leqslant$

表 2 货物的到达概率

	1	2	3	4	5	6
0 ~ 49	0.0565	0.0905	0.0565	0.0196	0	0
50 ~ 99	0.0565	0.0905	0.0565	0.0196	0	0
100 ~ 149	0.0384	0.0738	0.0384	0.0196	0	0
150 ~ 199	0.0196	0.0384	0.0565	0.0384	0	0
200 ~ 249	0.0196	0.0196	0.0384	0.0384	0	0
250 ~ 299	0	0	0.0196	0.0565	0.0196	0
300 ~ 349	0	0	0	0	0.0565	0.0196
350 ~ 399	0	0	0	0	0.0196	0.0384

$y_2(i)\leqslant\cdots\leqslant y_{N-1}(i)$, $i\geqslant 2$,即在不同阶段设定舱位保护不同,而且距离离港阶段越远保护舱位数越大;对同一阶段的各等级舱位保护数有 $y_n(1)\leqslant y_n(2)\leqslant\cdots\leqslant y_n(k)$,并且在定舱的前期阶段差异更明显,从而能够有效防止低等级货物过早挤占舱位容量。基于风险规避 RAMDP 模型表现出这样结构化的舱位保护策略,与基于 MER 的 MDP 模型差异:相同等级各阶段舱位保护数 $y_{n-1}^{\gamma}(i)\leqslant y_{n-1}(i)$,其意义是决策者在风险规避时,可适当减小各等级的舱位保护数,适当放宽对各等级货物的限制。

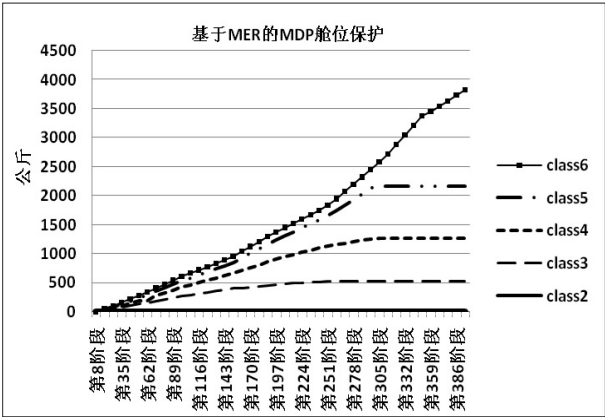


图 1 MER 舱位保护数的变化

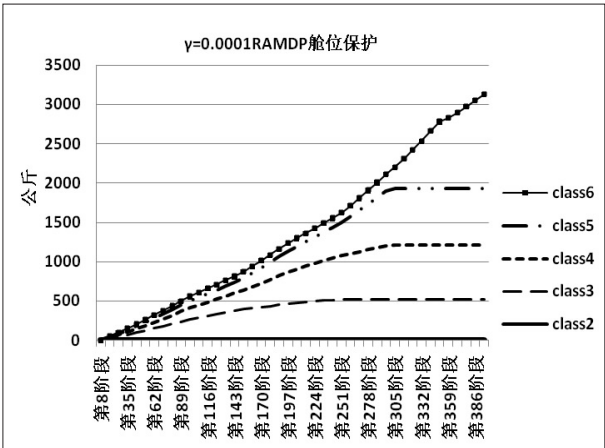


图 2 RAMDP 舱位保护数的变化

表 4 是基于 MER 的 MDP 模型及不同风险规避程度 γ 下的 RAMDP 模型及先到先服务的策略(FCFS)的比较。通过比较可以看出, γ 风险规避参数越小,其舱

位分配结果及获得的总收益 R 与 MER 一致, γ 风险规避参数越大, 其舱位分配结果及获得的总收益 R 与 FCFS 策略一致, 即 RAMDP 模型为风险规避决策者提供了更多决策选择。

表3 各等级货物非齐次泊松到达过程及货物重量

等级	非齐次到达的阶段及到达的重量
1	27(3.0), 37(7.0), 56(3.0), 77(5.0), 93(6.0), 94(4.0), 119(3.0), 130(2.0), 134(6.0), 197(5.0), 230(4.0)
2	15(15.0), 21(12.0), 30(16.0), 50(25.0), 59(20.0), 60(21.0), 81(21.0), 90(29.0), 92(13.0), 102(16.0), 115(21.0), 120(18.0), 127(30.0), 137(26.0), 169(16.0), 175(24.0), 247(16.0)
3	17(67.0), 18(47.0), 38(54.0), 62(45.0), 69(51.0), 79(69.0), 81(73.0), 87(58.0), 101(43.0), 118(59.0), 149(46.0), 160(58.0), 162(38.0), 181(69.0), 211(61.0), 234(69.0), 239(61.0), 260(69.0)
4	52(272.0), 101(167.0), 125(129.0), 144(234.0), 179(166.0), 198(247.0), 199(129.0), 227(189.0), 228(189.0), 238(198.0), 267(122.0), 284(94.0), 287(138.0), 297(223.0), 298(171.0)
5	275(340.0), 301(415.0), 313(456.0), 317(374.0), 322(391.0), 363(330.0)
6	304(482.0), 371(542.0), 375(672.0), 391(621.0)

表4 不同策略下的舱位分配情况与总收益状况对比

	6	5	4	3	2	1	R
FCFS	2317	2306	309	0	56	11	167788.5
0.01	2317	2306	309	0	56	11	167788.5
0.005	2317	2306	293	69	0	15	166977.1
0.003	2317	1891	309	260	180	41	169125.2
0.001	1835	2306	171	298	339	48	174081.2
0.0005	1835	1891	309	577	339	48	175945.3
0.0001	1835	1061	877	847	324	48	178300.2
0.00001	1293	1435	1075	796	339	48	180016.2
MER	1293	1435	1075	796	339	48	180016.2

6 结束语

文中以航协 TACT 发布的空运货物价格作为货物等级划分的依据, 并且考虑货运订舱行为的不确定性, 构建了基于风险规避的有限阶段 RAMDP 决策模型, 该模型具有结构化的舱位保护策略, 而且风险规避因

子为决策者提供更多策略选择。实验分析验证了该模型适用于解决不确定性航空货运舱位优化控制问题。文中的研究只限于单航段情形, 而且未考虑超售因素, 未来航空货运舱位优化控制模型应该包含超售情形, 并将模型扩展到多航段及整个航线网络中, 以进一步提高航空货运收益。

参考文献:

[1] Popescu A, Keskinocak P, Johnson E, et al. Estimation air cargo overbooking based on a discrete show-up-rate distribution [J]. Interfaces, 2006(3):248-258.

[2] Kasilingam R G. An economic model for air cargo overbooking under stochastic capacity[J]. Computer Industry Engineering, 1997, 32(1):221-226.

[3] 张永莉. 应用收益管理方法的航空货运销售[J]. 中国民航学院学报, 2003(5):24-26.

[4] 桂云苗, 朱金福. 航空货运动态舱位控制模型研究[J]. 预测, 2007(6):53-56.

[5] Barz C. Risk-averse capacity control in revenue management [M]. Berlin: Springer-Verlag, 2007:47-62.

[6] Barz C, Waldmann K H. Risk-sensitive capacity control in revenue management[J]. Mathematical Methods of Operations Research, 2007, 65(3):565-579.

[7] 罗远浩, 何小通, 吴立. 航空货运舱位重量等级需求统计分析(一)[J]. 空运商务, 2009(5):29-30.

[8] Mongin P. Expected Utility Theory[M]//The Handbook of Economic Methodology. [s.l.]:[s.n.], 1998:342-350.

[9] 郭文英. 期望效用理论的发展[J]. 首都经济贸易大学学报, 2005(5):11-14.

[10] 周国梅, 傅小兰. 决策的期望效用理论的发展[J]. 心理科学, 2001, 24(2):219-220.

[11] Joongwoo B. Capacity control in network revenue management: clustering and risk-aversion[D]. USA: MIT, 2010.

[12] 邓永录, 梁之顺. 随机点过程及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 1992:69-70.

[13] Kirkwood C W. Approximating risk aversion in decision analysis applications[J]. Decision Analysis, 2004(1):55-72.

and exploiting the user perspective on data quality [C]//Proc of 32th VLDB. Seoul, Korea: [s.n.], 2006:977-988.

[13] Yuan Man, Liu Wei. A novel data quality controlling and assessing model based on rules [C]//ISECS'10 Proceedings of the 2010 Third International Symposium on Electronic Commerce and Security. Guangzhou: Academy Publisher, 2010:29-32.

[14] 李 聃. 元数据在数据仓库中的研究与应用 [D]. 成都: 西南石油大学, 2007.

++++++
(上接第84页)

Systems, 2007, 38(2):75-93.

[9] 黄武锋, 郑 华. 面向企业信息化的数据质量评估研究 [J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(1):185-188.

[10] 丁海龙, 徐宏炳. 数据质量分析及应用 [J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(3):236-238.

[11] 王晓华. 电信数据挖掘的数据质量评估技术 [D]. 杭州: 浙江大学, 2010.

[12] Missier P, Embury S, Greenwood M. Quality views: Capturing

基于风险规避航空货运舱位优化控制RAMDP模型

作者：[衡红军](#)，[马明华](#)
作者单位：[中国民航大学 计算机科学与技术学院, 天津300300](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)
年，卷(期)：2013(3)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjtz201303024.aspx