doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2018.04.012

# 多元马氏模型在 (*t*, *R*) 型库存决策中的应用

宋玉琴，肖利君，刘　琛，杨莲娇

（湖南工业大学 理学院，湖南 株洲 412007）

**摘　要**：在需求相互转移的环境下，考虑带有多元马尔可夫需求的库存系统 (*t*, *R*) 型决策问题。主要考虑以多元马氏链为理论导向，并结合经典的库存系统 (*t*, *R*) 型的决策方法和理论，提出了带有多元马氏需求的 (*t*, *R*) 型库存决策模型，进而给出库存系统的最优 (*t*, *R*) 策略，以确定系统的最优订购时间和订购量。模型的基本结论表明，需求间的关联性对库存系统的最优决策机制具有重要的影响。

**关键词**：多元马氏需求；库存决策；最优 (*t*, *R*) 策略

**中图分类号**：O211.62；F253.4　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1673-9833(2018)04-0074-05

## Application of Multivariate Markov Model in (*t*, *R*) Inventory Decision-Making

SONG Yuqin，XIAO Lijun，LIU Chen，YANG Lianjiao

（College of Science，Hunan University of Technology，Zhuzhou Hunan 412007，China）

**Abstract**：In the context of demand shifting, a consideration is to be given to the (*t*, *R*) inventory decision making with multiple Markov demands. Priority is to be given to the consideration of the theory of multivariate Markov chains, with classical decision making methods and theories of (*t*, *R*) combined. A proposal has been made of a (*t*, *R*) inventory decision making model with multiple Markov demands, with an optimal (*t*, *R*) policy of the inventory system established, so as to determine the optimal order time and order quantity of the system. The basic conclusion of the model shows that the correlation between demands exerts an important influence on the optimal decision mechanism of the inventory system.

**Keywords**：multivariate Markov demand；inventory decision-making；optimal (*t*, *R*) policy

## 0　引言

传统马尔可夫链在处理多序列数据方面具有一定的局限性，即无法度量数据序列之间的关联性。同时在处理高阶问题过程中，计算转移概率比较复杂，涉及到的参数过多。为了克服上述不足，A. E. Raftery 等 [1-3] 为了简化高阶马氏链的计算过程，给出了一个新的高阶马氏模型，即 $p_{ij}^{(n)}=P\left\{X_{n+m}=j\middle|X_m=i\right\}=\sum_{l=1}^{n}\lambda_l q_{ji_l}$，这里 $\sum\limits_{l=1}^{n}\lambda_l=1$，$\lambda_l\geqslant 0$，$\boldsymbol{Q}=(q_{ji})_{m\times n}$ 为非负定矩阵并且满足列向量元素之和等于 1。Ching W. K. 等 [4] 在该理论基础之上，进一步拓展了传统马氏模型，即提出了具有更一般化的多元马尔可夫链。

多元马尔可夫链为最近兴起的随机过程研究领

**收稿日期**：2018-03-24

**基金项目**：湖南工业大学自然科学基金资助项目（2013HZX26，2014HZX25），湖南省教育厅基金资助项目（15C0389）

**作者简介**：宋玉琴（1981-），女，湖南汝城人，湖南工业大学讲师，博士，主要研究方向为马尔科夫过程及其应用，复杂网络的分形分析，E-mail：365876424@qq.com

**通信作者**：肖利君（1980-），女，湖南株洲人，湖南工业大学讲师，硕士，主要研究方向为 FPGA 多功能等精度计的设计与实现，E-mail：337568345@qq.com

域，是预测理论和方法的重要工具之一。Zhu D. M. 等 [5] 为了进一步完善多元马氏理论在实际应用中的可操作性，在原模型的理论基础上改进了模型参数的估计法，并将新模型应用到市场的需求预测。Song N. 等 [6] 研究了多元马氏链在期权定价中的应用，Zhu D.M. 等 [7] 根据多元马氏需求预测模型，针对生产系统的运作与规划问题，建立了相应的最优生产决策模型，并通过算例论证了模型的有效性和可行性。B. Damásio 等 8] 将回归模型纳入多元马氏链的理论框架，以提升多元马氏模型在预测中的准确度。S. Suresh 等 [9] 结合模糊时间序列理论，拓展了多元马氏模型的预测机制，并使用该机制解决了碳排放量的预测问题。

近年来，随着多元马氏理论的研究不断地拓展，其理论成果已广泛应用到库存系统的控制理论和方法 [10−12]、天气预报 [13]、基因工程 [14]、风险管理 [15] 等诸多领域。以上国内外学者对多元马氏链的研究成果主要体现在预测、理论拓展、运作与管理等方面，并取得丰富的研究成果。然而，针对不确定需求环境下，尚未有人以多元马氏理论为导向，对库存系统的最优 $(t, R)$ 策略问题的研究。为此，本文主要在多元马氏需求预测模型的理论框架下，构建库存系统的最优 $(t, R)$ 策略的决策机制。

# 1　模型构建

## 1.1　符号说明和假设

在市场竞争的环境下，顾客的需求往往具有多样性、易转移性等基本特征，进而造成在一定的周期内对不同竞争性产品间的需求不断地相互转移。为了刻画产品需求间的相互转移性对库存系统的决策机制所产生的影响，并制定库存系统的最优 $(t, R)$ 策略，即库存系统的最优订购时间和库存水平。

符号说明：

$k$=1, 2, ⋯, $K$ 为随机库存系统的周期，而 $n$=1, 2, ⋯, $N$ 为第 $n$ 种产品；

$I=\{i_1, i_2,\cdots, i_l\}$ 为各产品需求的状态集；

$d_{nk}\in I$ 为第 $n$ 种产品于第 $k$ 周期的需求状态，其中 $k$=1, 2, ⋯, $K$；

$\boldsymbol{P}^{(ji)}$ 为第 $i$ 种产品的需求状态转移到第 $j$ 种产品需求状态的概率矩阵；

$\{d_{nk}\}$ 为带有转移概率矩阵 $\boldsymbol{P}^{(nn)}=(p_{ij})_{l\times l}$ 的第 $n$ 条马氏链；

$D_{nk}$ 为第 $n$ 种产品于第 $k$ 周期的随机需求量；

$t_{nk}$ 为第 $n$ 种产品于第 $k$ 周期内的订购时间；

$L_{nk}$ 为第 $n$ 种产品在第 $k$ 周期的前置期；

$x_{nk}$ 为在 $L_{nk}+t_{nk}$ 内第 $n$ 种产品的销售量，其概率密度和分布函数分别为 $f_{X_{nk}}(x,t_{nk})$ 及 $F_{X_{nk}}(x,t_{nk})$；

$A_{nk}$ 为第 $n$ 种产品在第 $k$ 周期内的订购费用；

$h_{nk}$ 为第 $n$ 种产品在第 $k$ 周期内的库存管理费用；

$C_{nk}^{(s)}$ 为第 $n$ 种产品在第 $k$ 周期内的缺货损失费用；

$D_{L_{nk}}$ 为第 $n$ 种产品于第 $k$ 周期在前置期 $L_{nk}$ 内的平均需求量。

模型基本假设：

1）各产品的需求量 $D_{nk}$（$n$=1, 2, ⋯, $N$）具有马尔可夫性，并且为需求状态依赖的，即当 $d_{nk}=i_t\in I$ 时，其密度函数和分布函数分别为 $\phi_{i_t,k}(D_{nk})$ 和 $\Phi_{i_t,k}(D_{nk})$；

2）第 $n$ 种产品于第 $k$ 周期内，每次订货至库存水平为 $R_{nk}$，即当订购时的库存量为 $a$ 时，则库存系统的订购决策为 $R_{nk}-a$，其中 $R_{nk}$ 为待定的未知数；

3）允许缺货。

## 1.2　最优 $(t, R)$ 库存决策模型的基础理论

对于产品的需求预测是随机库存系统的控制理论和方法的基础，如何给出产品需求的科学预测，关乎库存优化决策的科学性及合理性。近期相关的研究成果表明，以多元马尔可夫链为导向，对多产品的需求进行统一预测具有一定的优越性，该方法不但可以度量产品需求间的相互转移性，同时还可以确定不同数据序列之间的关联性 [16]。为了建立带有多元马氏需求的最优 $(t, R)$ 库存决策模型，首先介绍以下相关的基础理论。

**定义 1**　i）记 $\boldsymbol{P}^{(ji)}$ 为数据序列 $i$ 的状态转移到序列 $j$ 的状态的转移概率矩阵，且 $\boldsymbol{P}^{(ji)}$ 不可约；

ii）$\boldsymbol{X}_k=\left(X_k^{(1)},X_k^{(2)},\cdots,X_k^{(N)}\right)^{\mathrm{T}}$ 为多元马氏链中各序列于第 $k$ 周期的状态的概率分布，其中 $\boldsymbol{X}_k^{(n)}\ (n=1, 2, \cdots, N)$ 为第 $n$ 序列于第 $k$ 周期的状态的概率分布，若存在 $\boldsymbol{\varLambda}=\begin{pmatrix}\lambda_{11} & \lambda_{12} & \cdots & \lambda_{1N}\\ \lambda_{21} & \lambda_{22} & \cdots & \lambda_{2N}\\ \vdots & \vdots & & \vdots\\ \lambda_{N1} & \lambda_{N2} & \cdots & \lambda_{NN}\end{pmatrix}$，其中 $\sum\limits_{n=1}^{N}\lambda_{mn}=1$，$\lambda_{mn}\geqslant 0$，使得：

$$\boldsymbol{X}_{k+1}=\boldsymbol{A}\boldsymbol{X}_k, \tag{1}$$

则称式（1）为多元马尔可夫模型，这里 $\boldsymbol{A}=\begin{pmatrix}\lambda_{11}\boldsymbol{P}^{(11)} & \lambda_{12}\boldsymbol{P}^{(12)} & \cdots & \lambda_{1N}\boldsymbol{P}^{(1N)}\\ \lambda_{21}\boldsymbol{P}^{(21)} & \lambda_{22}\boldsymbol{P}^{(22)} & \cdots & \lambda_{2N}\boldsymbol{P}^{(2N)}\\ \vdots & \vdots & & \vdots\\ \lambda_{N1}\boldsymbol{P}^{(N1)} & \lambda_{N2}\boldsymbol{P}^{(N2)} & \cdots & \lambda_{NN}\boldsymbol{P}^{(NN)}\end{pmatrix}$，$\lambda_{nm}$ 为概率分布 $\boldsymbol{X}_{k+1}^{(n)}$ 与 $\boldsymbol{X}_k^{(m)}$ 的关系权数，$n, m$=1, 2, ⋯, $N$（参数矩阵 $\boldsymbol{A}$ 的求解详见文献 [4]）。

为了导出需求的状态过程，根据产品需求的大小

对其进行等级划分，即把落在同一小区间内的需求统称为某一需求状态。同时，为了方便问题的讨论，将当$D_{nk}\in\left[(t-1)a,ta\right)$时（$a>0$），记为状态$i_t$（$t=1, 2, \cdots, l$）。于是，结合文献 [16] 中的命题 2 可知，第 $n$ 种产品于第 $k$+1 周期的期望需求量为

$$\boldsymbol{X}_{k+1}^{(n)}\boldsymbol{\eta}_{n(k+1)}=\sum\nolimits_{m=1}^{N}\lambda_{nm}\boldsymbol{P}^{(nm)}\boldsymbol{X}_{k}^{(m)}\boldsymbol{\eta}_{n(k+1)}, \qquad (2)$$

式中：$\boldsymbol{X}_{k}^{(n)}=\left(x_{i_1k}^{(n)},x_{i_2k}^{(n)},\cdots,x_{i_lk}^{(n)}\right)$为第 $n$ 种产品于第 $k$ 周期需求状态的概率分布；

$\boldsymbol{\eta}_k=(\boldsymbol{\eta}_{1k},\boldsymbol{\eta}_{2k},\cdots,\boldsymbol{\eta}_{Nk})$，$\boldsymbol{\eta}_{nk}=\left(\eta_{i_1k}^{(n)},\eta_{i_2k}^{(n)},\cdots,\eta_{i_lk}^{(n)}\right)^{\mathrm{T}}$，而 $\eta_{i_tk}^{(n)}=\int_{(t-1)a}^{ta}D_{nk}\phi_{i_t,k}(D_{nk})\mathrm{d}D_{nk}$，$t=1, 2,\cdots, l$。

从期望需求量的式（2）易知，各产品于下个周期的需求量不但与自身现阶段的需求状态有关联性，同时还与其它产品的需求量有密切的相关性。这种需求间的关联性，可通过关系权数 $\lambda_{nm}$ 来刻画。

### 1.3 带有多元马氏需求的 $(t, R)$ 型库存决策模型

因为$D_{L_{nk}}$为第 $n$ 种产品于第 $k$ 周期在前置期 $L_{nk}$ 内的平均需求量，所以当第 $k$ 周期的订购量入库时所产生的库存量约为 $R_{nk}-D_{L_{nk}}$。又因为库存系统在收到下一次订购量前的库存量为 $R_{nk}-D_{L_{nk}}-D_{nk}$，所以第 $n$ 种产品于第 $k$+1 周期的期望库存量为

$$E\left(I_{n(k+1)}\right)=\frac{R_{n(k+1)}-D_{L_{n(k+1)}}+R_{n(k+1)}-D_{L_{n(k+1)}}-E\left(D_{n(k+1)}\right)}{2}=$$

$$R_{n(k+1)}-D_{L_{n(k+1)}}-\frac{E\left(D_{n(k+1)}\right)}{2}。\qquad (3)$$

式中：$I_{nk}$ 为第 $n$ 种产品于第 $k$ 周期的库存量；

$$E\left(D_{n(k+1)}\right)=\sum\nolimits_{m=1}^{N}\lambda_{nm}\boldsymbol{P}^{(nm)}\boldsymbol{X}_{k}^{(m)}\boldsymbol{\eta}_{n(k+1)}。$$

于是，若记 $TC(R_{nk}, t_{nk})$ 为第 $n$ 种产品于第 $k$ 周期单位时间内总费用，则根据式（3）可得带有多元马氏需求的 $(t, R)$ 型库存决策模型，即

$$TC\left(R_{n(k+1)},t_{n(k+1)}\right)=\frac{A_{n(k+1)}}{t_{n(k+1)}}+$$

$$h_{n(k+1)}\left[R_{n(k+1)}-D_{L_{n(k+1)}}-\frac{E\left(D_{n(k+1)}\right)}{2}\right]+$$

$$\frac{C_{n(k+1)}^{(\mathrm{s})}}{t_{n(k+1)}}\int_{R_{n(k+1)}}^{+\infty}\left(x-R_{n(k+1)}\right)f_{X_{n(k+1)}}\left(x,t_{n(k+1)}\right)\mathrm{d}x。\qquad (4)$$

较于传统的 $(t, R)$ 型库存决策模型，新模型充分考虑了多产品需求间的关联性对单位时间内总费用的影响。在实际的市场经济活动中，由于顾客的需求具有易转移性，性价比、品牌偏好性等特点，因此在某个周期内购买某种类产品，而在下个周期则可能转移到其它产品，因此新模型更具有实际意义。

## 2 模型的最优解

本章主要研究在多元马氏需求环境下，模型（4）的最优 $(t, R)$ 策略。

因为

$$\int_{R_{n(k+1)}}^{+\infty}\left(x-R_{n(k+1)}\right)f_{X_{n(k+1)}}\left(x,t_{n(k+1)}\right)\mathrm{d}x=$$

$$\int_{R_{n(k+1)}}^{+\infty}xf_{X_{n(k+1)}}\left(x,t_{n(k+1)}\right)\mathrm{d}x-\int_{R_{n(k+1)}}^{+\infty}R_{n(k+1)}f_{X_{n(k+1)}}\left(x,t_{n(k+1)}\right)\mathrm{d}x,$$

所以

$$TC\left(R_{n(k+1)},t_{n(k+1)}\right)=\frac{A_{n(k+1)}}{t_{n(k+1)}}+h_{n(k+1)}\left[R_{n(k+1)}-D_{L_{n(k+1)}}-\right.$$

$$\left.\frac{E\left(D_{n(k+1)}\right)}{2}\right]+\frac{C_{n(k+1)}^{(\mathrm{s})}}{t_{n(k+1)}}\left[\int_{R_{n(k+1)}}^{+\infty}xf_{n(k+1)}\left(x,t_{n(k+1)}\right)\mathrm{d}x-\right.$$

$$\left.\int_{R_{n(k+1)}}^{+\infty}R_{n(k+1)}f_{X_{n(k+1)}}\left(x,t_{n(k+1)}\right)\mathrm{d}x\right]。$$

对模型（4）求关于 $R_{n(k+1)}$ 及 $t_{n(k+1)}$ 的偏导数，并令其等于零，得：

$$\frac{\partial TC\left(R_{n(k+1)},t_{n(k+1)}\right)}{\partial R_{n(k+1)}}=h_{n(k+1)}+$$

$$\frac{C_{n(k+1)}^{(\mathrm{s})}}{t_{n(k+1)}}\left[-R_{n(k+1)}f_{n(k+1)}\left(R_{n(k+1)},t_{n(k+1)}\right)-\right.$$

$$\int_{R_{n(k+1)}}^{+\infty}R_{n(k+1)}f_{X_{n(k+1)}}\left(x,t_{n(k+1)}\right)\mathrm{d}x+$$

$$\left.R_{n(k+1)}f_{n(k+1)}\left(R_{n(k+1)},t_{n(k+1)}\right)\right]=$$

$$h_{n(k+1)}+\frac{C_{n(k+1)}^{(\mathrm{s})}}{t_{n(k+1)}}\int_{R_{n(k+1)}}^{+\infty}R_{n(k+1)}f_{X_{n(k+1)}}\left(x,t_{n(k+1)}\right)\mathrm{d}x=0,$$

$$\frac{\partial TC\left(R_{n(k+1)},t_{n(k+1)}\right)}{\partial t_{n(k+1)}}=-\frac{A_{n(k+1)}}{t_{n(k+1)}^{2}}-$$

$$\frac{C_{n(k+1)}^{(\mathrm{s})}}{t_{n(k+1)}^{2}}\left[\int_{R_{n(k+1)}}^{+\infty}xf_{n(k+1)}\left(x,t_{n(k+1)}\right)\mathrm{d}x-\right.$$

$$\left.\int_{R_{n(k+1)}}^{+\infty}R_{n(k+1)}f_{X_{n(k+1)}}\left(x,t_{n(k+1)}\right)\mathrm{d}x\right]+$$

$$\frac{C_{n(k+1)}^{(\mathrm{s})}}{t_{n(k+1)}}\left[\frac{\partial}{\partial t_{n(k+1)}}\left(\int_{R_{n(k+1)}}^{+\infty}xf_{n(k+1)}\left(x,t_{n(k+1)}\right)\mathrm{d}x+\right.\right.$$

$$\left.\left.R_{n(k+1)}F_{X_{n(k+1)}}\left(R_{n(k+1)},t_{n(k+1)}\right)\right)\right]=0。$$

因此，联立上述方程并化简，可得模型（4）的最优性一阶条件，即：

$$\begin{cases} \dfrac{\partial TC\left(R_{n(k+1)}, t_{n(k+1)}\right)}{\partial R_{n(k+1)}} = h_{n(k+1)} + \\ \quad \dfrac{C_{n(k+1)}^{(s)}}{t_{n(k+1)}} \displaystyle\int_{R_{n(k+1)}}^{+\infty} R_{n(k+1)} f_{X_{n(k+1)}}\left(x, t_{n(k+1)}\right) \mathrm{d}x = 0, \\ \dfrac{\partial TC\left(R_{n(k+1)}, t_{n(k+1)}\right)}{\partial t_{n(k+1)}} = C_{n(k+1)}^{(s)} \cdot \\ \quad \left[ \dfrac{\partial}{\partial t_{n(k+1)}} \left( \displaystyle\int_{R_{n(k+1)}}^{+\infty} x f_{n(k+1)}\left(x, t_{n(k+1)}\right) \mathrm{d}x + \right.\right. \\ \quad \left.\left. R_{n(k+1)} F_{X_{n(k+1)}}\left(R_{n(k+1)}, t_{n(k+1)}\right) \right) \right] - \dfrac{A_{n(k+1)}}{t_{n(k+1)}} - \\ \quad \dfrac{C_{n(k+1)}^{(s)}}{t_{n(k+1)}} \left[ \displaystyle\int_{R_{n(k+1)}}^{+\infty} x f_{n(k+1)}\left(x, t_{n(k+1)}\right) \mathrm{d}x - \right. \\ \quad \left. \displaystyle\int_{R_{n(k+1)}}^{+\infty} R_{n(k+1)} f_{X_{n(k+1)}}\left(x, t_{n(k+1)}\right) \mathrm{d}x \right] = 0。 \end{cases} \tag{5}$$

由上述最优性一阶条件可知，只要给出库存系统中的第 $n$ 种产品在 $L_{nk}+t_{nk}$ 内的销售量 $x_{nk}$ 的概率密度和分布函数 $f_{X_{nk}}(x, t_{nk})$ 及 $F_{X_{nk}}(x, t_{nk})$，即可确定库存系统在下个周期的最优 $(t, R)$ 策略。决策者可以根据最优 $(t, R)$ 策略中的数据信息，来优化库存系统的运作与管理水平，以提升决策机制的绩效性。

## 3　结语

在现代市场的竞争环境中，互为竞争性商品的需求间相互转移成为现代商品的基本属性之一。如何将需求间的转移性纳入库存模型的理论框架，进而构建相应的决策机制具有重要的实际管理意义，同时也有助于丰富运筹学的决策理论和方法。为此，本文以多元马氏模型为理论导向，提出了带有多元马氏需求的 $(t, R)$ 型库存决策模型，并讨论了模型的最优解。由模型（4）的理论成果可知，在顾客的需求相互转移的环境下，库存系统的运作成本与顾客需求转移性具有重要的关联性。因此，新模型较于传统模型更符合经济活动的客观实际性，同时进一步克服了传统模型理论上的局限性，即未考虑需求的转移性对库存系统的决策机制的影响。决策者可利用需求数据信息，确定不同产品的转移概率矩阵，结合本模型的理论成果，给出随机库存系统的最优 $(t, R)$ 策略，以提高系统的运作与管理的决策水平。

## 参考文献：


[1] RAFTERY A E. A Model for High-Order Markov Chains[J]. Journal of the Royal Statistical Society, 1985，47(3)：528−539.

[2] RAFTERY A E，TAVARE S. Estimation and Modelling Repeated Patterns in High Order Markov Chains with the Mixture Transition Distribution Model[J]. Journal of the Royal Statistical Society，1994，43(1)：179−199.

[3] BERCHTOLD A，RAFTERY A. The Mixture Transition Distribution Model for High-Order Markov Chains and Non-Gaussian Time Series[J]. Statistical Science，2002，17(3)：328−356.

[4] CHING W K，FUNG E S，NG M K. A Multivariate Markov Chain Model for Categorical Data Sequences and Its Applications in Demand Predictions[J]. IMA Journal of Management Mathematics，2002，13(3)：187−199.

[5] ZHU D M，CHING W K. A New Estimation Method for Multivariate Markov Chain Model with Application in Demand Predictions[C]//International Conference on Business Intelligence & Financial Engineering. Hongkong：IEEE，2010：126−130.

[6] SONG N，CHING W K，SIU T K，et al. Option Valuation Under a Multivariate Markov Chain Model[C]// Third International Joint Conference on Computational Science and Optimization. Huangshan：IEEE，2010：177−181.

[7] ZHU D M，CHING W. Multivariate Markov Chain Models for Production Planning[J]. International Journal of Intelligent Engineering Informatics，2011，1(2)：156−173.

[8] DAMÁSIO B，NICOLAU J. Combining a Regression Model with a Multivariate Markov Chain in a Forecasting Problem[J]. Statistics & Probability Letters，2014，90(1)：108−113.

[9] SURESH S，KANNAN K S，VENKATESAN P. Higher Order Multivariate Markov Chain Model for Fuzzy Time Series[J]. Journal of Statistics & Management Systems，2016，19(1)：21−35.

[10] 陈　杰，陈志祥，邢灵博 . 基于多元马氏需求转移特征的多产品库存优化策略研究 [J]. 预测，2014，33(6)：54−59.
CHEN Jie，CHEN Zhixiang，XING Lingbo. Optimal Inventory Policy for Multiple Products with the Multivariate Markovian Demand Transition Characteristics[J]. Forecasting，2014，33(6)：54−59.

[11] 陈　杰，陈志祥 . 具有多元马氏需求的多产品多阶段库存优化模型 [J]. 中国管理科学，2015，23(5)：151−160.
CHEN Jie，CHEN Zhixiang. Optimal Policy for Multi-Product Multi-Stage Inventory Model with Multivariat Markov Demand[J]. Chinese Journal of Management Science，2015，23(5)：151−160.

[12] 陈　杰，陈志祥 . 具有多元马氏需求的易变质多产品的 EOQ 模型 [J]. 管理工程学报，2016，30(4)：93−

101.
CHEN Jie，CHEN Zhixiang. The EOQ Model with Multivariate Markov Demand for Deteriorating Items[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management，2016，30(4)：93-101.
[13] YANG H，LI Y，LU L，et al. First Order Multivariate Markov Chain Model for Generating Annual Weather Data for Hong Kong[J]. Energy and Buildings，2011，43(9)：2371-2377.
[14] CHING W K，FUNG E S，NG M K. Higher-Order Markov Chain Models for Categorical Data Sequences[J]. Naval Research Logistics，2004，51(4)：557-574.
[15] SIU T K，CHING W K，FUNG S E，et al. On a Multivariate Markov Chain Model for Credit Risk Measurement[J]. Quantitative Finance，2005，5(6)：543-556.
[16] 陈 杰，陈志祥，邢灵博，等. 带有能力约束的多元马氏需求报童模型 [J]. 管理科学学报，2016，19(7)：37-49.
CHEN Jie，CHEN Zhixiang，XING Lingbo，et al. Capacitated Newsboy Model with Multivariate Markovian Demand[J]. Journal of Management Science in China，2016，19(7)：37-49.

（责任编辑：申 剑）

（上接第 73 页）

[6] CORREIA R F，BRITO C M. Mutual Influence Between Firms and Tourist Destination：A Case in the Douro Valley[J]. International Review on Public and Nonprofit Marketing，2014，11(3)：209-228.
[7] GAVALAS D，KENTERIS M，KONSTANTOPOULOS C，et al. Web Application for Recommending Personalised Mobile Tourist Routes[J]. IET Software，2012，6(4)：313-322.
[8] 吴 澎，朱家明，朱林波，等. 基于多目标规划和智能优化算法的旅游线路设计研究 [J]. 数学的实践与认识，2016，46(15)：105-114.
WU Peng，ZHU Jiaming，ZHU Linbo，et al. Research on the Design of Travel Route Based on the Multi-Objective Programming and Intelligent Optimization Algorithm[J]. Mathematics in Practice and Theory，2016，46(15)：105-114.
[9] HE Z Q，WU Z Y，ZHOU B C，et al. Tourist Routs Recommendation Based on Latent Dirichlet Allocation Model[C]//Web Information System and Application Conference (WISA). Jinan：IEEE，2015：11-13.
[10] ETAATI L，SUNDARAM D. A Tentative Tourist Recommendation System：Conceptual Frameworks and Implementations[J]. Vietnam Journal of Computer Science，2015，2(2)：95-107.
[11] 姬鹏飞，李远刚，卢盛祺，等. 基于语义 Web 的旅游景点路线个性化定制系统 [J]. 计算机工程，2016，42(10)：308-317.
JI Pengfei，LI Yuangang，LU Shengqi，et al. Personalized Customization System of Travel Route Based on Semantic Web[J]. Computer Engineering，2016，42(10)：308-317.
[12] GAVALAS D，KENTERIS M. A Web-Based Pervasive Recommendation System for Mobile Tourist Guides[J]. Personal & Ubiquitous Computing，2011，15(7)：759-770.
[13] NEO H F，RASIAH D，TONG D Y K，et al. Biometric Technology and Privacy：A Perspective From Tourist Satisfaction[J]. Information Technology & Tourism，2014，14(3)：219-237.
[14] SHI L，LIN F Y，YANG T C，et al. Context-Based Ontology-Driven Recommendation Strategies for Tourism in Ubiquitous Computing[J]. Wireless Personal Communications，2014，76(4)：731-745.
[15] HORNG G J. The Adaptive Recommendation Mechanism for Distributed Parking Service in Smart City[J]. Wireless Personal Communications，2015，80(1)：395-413.

（责任编辑：申 剑）