doi: 10.7690/bgzdh.2013.11.010

基于改进马尔科夫模型的航空备件需求预测

夏秀峰，董彦军
(沈阳航空航天大学计算机学院，沈阳 110136)

摘要：针对时间序列法存在较大误差的问题，构建基于改进马尔科夫的航空备件需求预测模型。利用备件的历史数据计算出状态转移矩阵，以某飞行大队航材部门某型直升机备件的月统计消耗量为例，通过马尔科夫预测和改进的三步平均马尔科夫预测法对备件的需求状态概率进行预测分析。结果表明：在给定备件满足率的情况下，改进的马尔科夫预测法能取得更好的预测效果。

关键词：航空备件需求；马尔科夫预测；三步平均法
中图分类号：TJ03 **文献标志码**：A

Demand Prediction for Spare Parts of Aviation Based on Improved Markov Model

Xia Xiufeng, Dong Yanjun
(*College of Computer*, *Shenyang Aerospace University*, *Shenyang* 110136, *China*)

Abstract: Aiming at the large error of time series method, establish the aviation spare parts demand predication model based on improved Markov. Use historical data of spare parts to calculate state transfer matrix. Take month statistic consumption of certain type helicopter spare parts of aviation team spare part department as example, carry out predication analysis for spare parts demand state probability by Markov predication and improved three-step average Markov predication method. The results shows that in the case of a given spare parts, which meet the rate, the improved Markov prediction gets a better prediction result.

Key words: demand of spare parts; Markov prediction; three-step average method

0 引言

在航空器的保障资源中，航空备件对飞行完好率的影响是最直接、最敏感的，因此对航空备件的需求预测方法的研究，使配备的备件种类和数量既能满足飞行需要，又能减少备件费用，具有重要的军事和经济意义[1-2]。在航空备件的实际配置过程中，通过对备件历史需求数据的研究发现：一方面由于航空备件的需求具有季节性以及飞机的阶段检修性等原因，使得备件的需求必然具有一定的历史规律性[3-4]；另一方面，备件需求的阶段性又决定了其需求量总是一个独立的、在一定范围内的随机整数。由于备件需求的这种非线性需求特征使得其预测非常困难，用一般的时间序列预测法进行预测是具有局限性的[5-7]。

由于马尔科夫模型适用于长期的、数据序列随机波动大的预测问题[8]，在前人研究成果的基础上，笔者提出一种改进的三步平均马尔科夫模型对备件的需求概率进行预测，得出不同的满足率所对应的备件需求量。

1 马尔科夫模型及改进预测

对事件可能出现的状态的全面预测，不仅要能够指出事件发生的各种可能状态(结果)，而且还必须给出每一种状态出现的概率，说明被预测的事件在预测期内出现每一种状态的可能性程度，这就是关于事件发生的概率预测。马尔科夫预测法是一种关于事件发生概率预测的方法，是根据事件的目前状况来预测其将来各个时刻(或阶段)变动状况的一种预测方法[9-10]。

1.1 基本概念

为建立马尔科夫预测模型，首先给出以下定义。

定义 1 需求状态。是指航空备件的需求在某个时刻出现的一种结果，随着事件及其预测的目标不同，需求状态可以有不同的划分形式。这里定义航空备件的需求状态 E_i 为 n 种状态($E_1, E_2, \cdots, E_n$)。

定义 2 状态概率向量。在某阶段所有状态可能出现的概率的向量，用 $\boldsymbol{S}$ 表示，即状态概率向量 $\boldsymbol{S}=(S_1, S_2, \cdots, S_n)$，满足以下条件：

$$\begin{cases} 0\leqslant S_i \leqslant 1 & (i=1,2,\cdots,n) \\ \sum_{i=1}^{n} S_i = 1 & (i=1,2,\cdots,n) \end{cases}$$

其中 S_i 为状态概率，表示在某阶段系统处于状态 E_i 的可能性的大小。

收稿日期：2013-05-19；**修回日期**：2013-06-19
作者简介：夏秀峰(1964—)，男，山东人，教授，CCF 高级会员，从事数据库理论与技术研究。

定义 3　状态转移概率。在事件的变化过程中，从某一种状态出发，经过 k 步转移到其他状态的可能性，称为 k 步状态转移概率。用 $P_{ij}(k)$表示 k 步转移概率，即：

$$P_{ij}(k)=P(E_i \xrightarrow{k} E_j) \quad (i,j=1,2,\cdots,n)$$

定义 4　状态转移概率矩阵。假定某一被预测的事件有$(E_1, E_2, \cdots, E_n)$共 n 个可能的状态，记 $P_{ij}(k)$为从状态 E_i 转为状态 E_j 的 k 步状态转移概率，则作 n 阶矩阵

$$\boldsymbol{P}(k)=\begin{bmatrix} P_{11}(k) & P_{12}(k) & \cdots & P_{1n}(k) \\ P_{21}(k) & P_{22}(k) & \cdots & P_{2n}(k) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ P_{m1}(k) & P_{m2}(k) & \cdots & P_{mn}(k) \end{bmatrix}$$

称 $\boldsymbol{P}$ 为 k 步状态转移概率矩阵。

1.2　具体步骤

用马尔科夫预测航空备件的步骤如下：

1) 划分备件消耗的阶段和状态。

对于备件消耗预测来说，一般以时间 t 为参数表示阶段，备件在某一阶段的消耗情况作为状态量，考虑到不同备件需求数量的不同以及数据的规范化，可以通过极差法把消耗情况从少到多以此划分为 n 种状态，步骤如下：

① 找出历史数据中的最大值 $X_{\max}$ 和最小值 $X_{\min}$，确定取值空间为$[X_{\min}, X_{\max}]$；

② 确定备件的状态数量 n，求出状态步长 $L=(X_{\max}-X_{\min})/n$；

③ 将第 t 阶段的需求量 x_t 转化为该阶段的状态情况 $Y_t=\left|(x_t-X_{\min})/L\right|$。

2) 确定状态转移概率和状态转移概率矩阵。

通常，状态转移概率的理论值是未知的，为了求出 P_{ij}，一般采用频率近似概率的思想来计算。当样本足够大时，可以在样本空间内，近似地用状态相互转移的频率来统计状态量和状态转移。

设 M_i 为处于状态 E_i 的样本数；$M_{ij}(k)$为状态 E_i 经过 k 步转移到状态 E_j 的样本数，用 $P_{ij}(k)$表示 k 步转移概率，如式(1)：

$$P_{ij}(k)=P(E_i \to E_j)=\frac{M_{ij}(k)}{M_i} \quad (i,j=1,2,\cdots,n) \tag{1}$$

则相应的 k 步状态转移概率矩阵 $\boldsymbol{P}(k)$就可以表示式 (2) 所示形式：

$$\boldsymbol{P}(k)=\begin{bmatrix} P_{11}(k) & P_{12}(k) & \cdots & P_{1n}(k) \\ P_{21}(k) & P_{22}(k) & \cdots & P_{2n}(k) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ P_{n1}(k) & P_{n2}(k) & \cdots & P_{nn}(k) \end{bmatrix} \tag{2}$$

3) 建立马尔科夫预测模型。

只要知道 $t-k$ 阶段的状态和状态转移概率矩阵，在理论上就可以预测出 $t-k$ 阶段以后任意阶段的状态向量，计算公式如式 (3)：

$$S(t)=S(t-k)\times P(k) \tag{3}$$

式中 $\boldsymbol{P}(k)$为 k 步状态转移概率矩阵，若已知初始状态概率向量 $\boldsymbol{S}(0)$和转移概率矩阵 $\boldsymbol{P}(1)$，则可以求出系统在任意阶段的状态概率向量。

4) 建立改进的马尔科夫预测模型。

由于样本的有限性，在实际中由状态出现的频率计算出的状态转移概率矩阵会有一定的不稳定性。为了减少由一步状态转移所产生的误差，笔者采用连续三步平均法进行预测，计算公式如式 (4)：

$$S(t)=\frac{S(t-1)P(1)+S(t-2)P(2)+S(t-3)P(3)}{3} \tag{4}$$

2　满足率的计算

通过马尔科夫预测的方法可以得出所求阶段备件的状态向量$(E_1, E_2, \cdots, E_n)$所对应的预测概率向量 $\boldsymbol{S}=(S_1, S_2, \cdots, S_n)$。其中，每个状态可能的取值都为步长 L 的整数，如状态 E_1 的取值包括$(X_{\min}, X_{\min}+1, \cdots, X_{\min}+L)$。假设每个状态中所有的取值的概率相同，则状态 E_i 中每个值发生的概率为 S_i/L，把备件的所有可能取值从小到大排列，其概率的依次累加就可以表示为当预存为该值时系统的满足率。

3　实例分析

以某飞行大队航材部门某型直升机备件 Q 的月统计的消耗量为例，表 1 为 2002—2010 年某典型机械备件 Q 的消耗量。笔者以 2002—2009 年为样本数据，2010 年为检验数据。

表 1　备件 Q 的历史消耗数据

年份	月份											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2002	48	35	45	51	50	48	46	55	45	42	49	57
2003	54	48	48	39	51	63	42	41	48	57	35	33
2004	46	54	53	46	43	31	53	47	57	52	60	48
2005	43	46	60	47	43	46	52	47	40	49	39	46
2006	39	40	48	43	55	40	49	54	54	43	46	43
2007	58	61	43	57	31	61	34	54	46	36	58	31
2008	48	50	48	42	47	48	48	61	50	45	51	62
2009	57	41	64	52	39	59	53	46	46	34	37	39
2010	57	52	51	51	38	48	51	62	45	39	51	54

观察得到最大需求量为 64，最小需求量为 31，若划分为 5 个状态，则每个状态区间的步长定为 7，E_1 状态的所有可能取值为(31,32,33,34,35,36,37), 其余状态以此类推。

根据极差变换法对以上备件的历史消耗数据进

行标准化处理，处理后的数据如表 2。

表 2　备件 Q 的状态情况

年份	月份											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2002	E_3	E_1	E_3	E_3	E_3	E_3	E_3	E_4	E_3	E_2	E_3	E_4
2003	E_4	E_3	E_3	E_2	E_3	E_5	E_2	E_2	E_3	E_4	E_1	E_1
2004	E_3	E_4	E_4	E_3	E_2	E_1	E_4	E_3	E_4	E_4	E_5	E_3
2005	E_2	E_3	E_5	E_3	E_2	E_3	E_4	E_3	E_2	E_3	E_2	E_3
2006	E_2	E_2	E_3	E_2	E_4	E_2	E_3	E_4	E_4	E_2	E_3	E_2
2007	E_4	E_5	E_2	E_4	E_1	E_5	E_1	E_4	E_3	E_1	E_4	E_1
2008	E_3	E_3	E_3	E_2	E_3	E_3	E_3	E_5	E_3	E_3	E_3	E_5
2009	E_4	E_2	E_5	E_4	E_2	E_5	E_4	E_3	E_3	E_1	E_1	E_2
2010	E_4	E_4	E_3	E_3	E_2	E_3	E_3	E_5	E_3	E_2	E_3	E_4

从表 2 可知，总共有 10 个 E_1 状态，分别为 2002 年 2 月、2003 年 11 月、12 月等，即 $M_1=10$；从 E_1 状态经过一步转移到达 E_3 状态的数量为 3，分别为 2002 年 2 月—3 月、2003 年 12 月—2004 年 1 月、2007 年 12 月—2008 年 1 月，即 $M_{13}(1)=3$，所以 $P_{13}(1)=M_{13}(1)/M_1=0.3$，以此可以计算出其余的值，然后根据公式 (1) 和 (2) 可以分别得出备件 Q 的状态转移概率矩阵如下：

$$\boldsymbol{P}(1)=\begin{bmatrix} 0.200\,0 & 0.100\,0 & 0.300\,0 & 0.400\,0 & 0 \\ 0.045\,5 & 0.090\,9 & 0.590\,9 & 0.181\,8 & 0.090\,9 \\ 0.069\,8 & 0.302\,3 & 0.325\,6 & 0.186\,0 & 0.116\,3 \\ 0.136\,4 & 0.181\,8 & 0.318\,2 & 0.227\,3 & 0.136\,4 \\ 0.100\,0 & 0.200\,0 & 0.300\,0 & 0.300\,0 & 0.100\,0 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{P}(2)=\begin{bmatrix} 0.200\,0 & 0.200\,0 & 0.400\,0 & 0.100\,0 & 0.100\,0 \\ 0.045\,5 & 0.227\,3 & 0.281\,8 & 0.409\,1 & 0.036\,4 \\ 0.095\,2 & 0.119\,0 & 0.500\,0 & 0.214\,3 & 0.071\,4 \\ 0.090\,9 & 0.227\,3 & 0.500\,0 & 0.045\,5 & 0.136\,4 \\ 0.000\,0 & 0.600\,0 & 0.200\,0 & 0.200\,0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{P}(3)=\begin{bmatrix} 0.100\,0 & 0.000\,0 & 0.300\,0 & 0.600\,0 & 0 \\ 0.047\,6 & 0.190\,5 & 0.476\,2 & 0.238\,1 & 0.047\,6 \\ 0.047\,6 & 0.285\,7 & 0.357\,1 & 0.142\,9 & 0.116\,3 \\ 0.136\,4 & 0.227\,3 & 0.363\,6 & 0.272\,7 & 0 \\ 0.200\,0 & 0.100\,0 & 0.600\,0 & 0.000\,0 & 0.100\,0 \end{bmatrix}$$

为求出 2010 年的预测值，根据表 2 中的需求情况，得出 2009 年最后 3 个月的该备件需求状态分别为 1、1、2，所以 2009 年最后 3 个月该备件的状态概率向量 $\boldsymbol{S}$ 分别为 (1,0,0,0,0)、(1,0,0,0,0)、(0,1,0,0,0)。

根据公式 (3) 求出 2010 年 1 月的预测状态概率向量为(0.045 5,0.090 9,0.590 9,0.181 8,0.090 9)，进行满足率计算得表 3。

表 3　满足率的计算

需求量	概率	累计概率
31	0.006 5	0.006 5
32	0.006 5	0.013 0
⋮	⋮	⋮
38	0.013 0	0.058 5
⋮	⋮	⋮
52	0.026 0	0.779 3
53	0.026 0	0.805 3
⋮	⋮	⋮
65	0.013 0	1.000 0

由表 3 可知，当需求量为 53 时，累计概率为 0.805 3，也就是说，当要求满足率达到 80%时，其备件的储备量应不低于 53。

同理，当要求备件的满足率不低于 80%和 90%时，分别用马尔科夫预测与改进马尔科夫预测方法进行处理，根据公式 (3)、(4) 得出 2010 年各月的储备量应如表 4。

表 4　2010 年各月的结果分析

满足率/%	预测方法	月份												总计/个	平均/个
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
80	马尔科夫预测	53	57	57	56	56	53	56	56	54	56	53	56	663	55.25
	三步平均预测	56	53	56	55	55	54	54	55	56	55	54	53	656	54.67
90	马尔科夫预测	58	60	60	59	59	58	59	59	56	59	58	59	704	58.67
	三步平均预测	59	58	57	58	57	56	58	56	56	57	56	58	686	57.12

由结果可以看出，并不是所有的改进马尔科夫预测效果都比马尔科夫预测效果要好，例如 80%满足率时，2010 年 1 月的马尔科夫预测值优于三步平均预测值；但从长远的总计数和平均值来看，改进马尔科夫预测效果要更好一些。对于预测效果的起伏，主要是由于样本选取的结果造成的，当样本为理想样本，即状态转移概率矩阵为理性的精确值时，改进马尔科夫预测的结果将与马尔科夫预测的结果完全一致。

4　结论

马尔科夫预测中的状态转移概率矩阵反映着备件需求的历史规律，文中改进马尔科夫预测的方法进一步提高了状态转移矩阵的可靠性，是一种十分有效的预测备件需求状态概率的方法，通过满足率的计算可以得出确定满足率下备件的需求量。需要注意以下几点：

（下转第 48 页）