

# 基于贝叶斯网络的航材可修件周转比例计算

张利旺,徐常凯,徐刚,肖金林

(徐州空军学院 航材管理系,江苏 徐州 221000)

**摘要:** 将贝叶斯网络运用于航材可修件周转比例的计算。在贝叶斯网络学习阶段,采用 BDe 评分函数和贪婪算法搜索网络结构,运用贝叶斯算法进行参数学习,从而建立了可修件消耗定额预测模型,并对预测结果进行分析比较。最后利用贝叶斯网络预测结果进行周转比例的计算工作。结果表明,把贝叶斯网络应用于航材周转比例的计算是可行的。

**关键词:** 贝叶斯网络;航材;周转比例;计算

中图分类号: E917

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)22-0093-03

## The calculate of repairable spares turnover ratio based on Bayesian network

Zhang Liwang, Xu Changkai, Xu Gang, Xiao Jinlin

(Department of Air Material, Xuzhou Air Force College, Xuzhou 221000, China)

**Abstract:** This paper proposes a calculation of repairable spares turnover ratio by using Bayesian network. In the learning process, BDe scoring metric and Bayesian approach are used to structure learning and parameters learning, respectively. Finally, the results yielded by the Bayesian network are used to calculate repairable spares turnover ratio.

**Key words:** Bayesian network; repairable spares; turnover ratio; calculation

航空器材周转比例是指单位航材所保障的飞机架数,也就是某件器材一年来的周转定额和所装备的飞机数量的比值。其研究是根据各使用单位的特点,结合不同的保障任务、供应标准、航材性能、经验数据及环境条件等诸多条件,对不同使用单位的航材实际消耗情况进行分析归纳,建立数学模型找出其消耗规律,合理确定各种航材的周转定额和周转比例的数据分析工作。

航材的年周转定额是指单架飞机完成一年的飞行任务平均消耗的备件数(消耗定额)与备件修理周期的比值。由于可修件具有可修复性的特点,其消耗定额与多种因素有关,如返修周期、单机年平均故障数等<sup>[1]</sup>,因此准确地预测航材消耗定额是航材周转比例计算工作中的重点和难点。本文将贝叶斯网络应用于可修航材消耗定额的确定,并进一步做出了航材可修件周转比例的计算工作。

### 1 基于贝叶斯网络的可修航材消耗定额预测

#### 1.1 数据样本的建立

影响航材消耗定额的因素有很多,既有可量化的因

素如飞行时间,也有不确定的因素如气候条件等<sup>[2]</sup>。考虑到在飞行单位收集数据时的实际情况,选取以下七个影响因素:飞机架数、飞行时间、飞行起落、飞行人员飞行技术、机务人员维修技术、气候条件和飞行任务性质。

#### 1.1.1 影响因素分析

飞行人员飞行技术和机务人员维修技术这两个指标存在着难以量化的问题,因此在衡量飞行人员飞行技术时采用飞行员飞行等级、飞该机型的时间、飞行员心理品质三个量化考评指标;衡量机务人员维修技术时采用机务人员技术等级、从事机务工作年限、责任心三个量化考评指标。

采用模糊数学的方法做出分类并作量化处理<sup>[3]</sup>,可划分飞行员飞行技术为优、良、中、差四个等级,反映飞行员技术的论域  $U$ , 则论域  $U = \{\text{飞该机型的时间, 飞行等级, 心理品质}\}$ , 假定  $U$  上的  $F$  集为: 优 = {200, 特级, 0.9}, 良 = {150, 一级, 0.8}, 中 = {100, 二级, 0.7}, 差 = {50, 三级, 0.6}。利用模糊数学方法经归一化处理得: 优 = {0.4, 0.29, 0.30}, 良 = {0.3, 0.26, 0.27}, 中 = {0.2, 0.24,

## 应用奇葩

## Example of Application

0.23}, 差={0.1, 0.21, 0.20}, 假设某飞行员飞行技术的  $F$  集为  $A=\{0.32, 0.24, 0.20\}$ , 利用模糊数学格贴近度公式计算得:  $A=\max\{0.32, 0.3, 0.24, 0.21\}=0.32$ 。所以该飞行员的飞行技术属于优, 利用此方法可以计算出一个飞行单位各个飞行员的飞行技术。

在得出每个飞行员飞行技术后, 就可以对一个飞行单位的飞行员飞行技术进行评分。具体评分方法如表 1 所示, 把得到的评分值与标准值相比, 就可以得到评分值。本例中飞行员飞行技术评分值为:  $310/(100 \times 4)=0.775$ 。利用同样的方法可以计算出机务人员的维修技术评分值。

表 1 飞行技术评分表

飞行员素质	数量	分值	合计
优	50	4	200
良	20	3	60
中	20	2	40
差	10	1	10
合计	100		310

另外在气候条件的评分上, 采用恶劣飞行天气占全年飞行日的比例; 飞行任务性质的评分采用执行非常规飞行任务占全年飞行日的比例。这些数据都可以在飞行记录上找到。

## 1.1.2 各个参数节点状态

本实例的数据来源为 5 个飞行单位近 18 年来某两项器材的历史消耗, 具体的各节点含义及状态如表 2 所示。采用 Hierarchical 离散化方法对原始数据进行处理, 结果如表 3 所示。样本数据经过数据离散化标准处理后, 变成由离散数据组成的属性值矩阵, 由此得到 18 条数据样本, 并将其分为两部分: 10 条数据样本作为训练集; 8 条数据样本作为测试集。

## 1.2 贝叶斯网络结构的构建

贝叶斯网络结构学习的目标是找到和样本数据集匹配度最好的贝叶斯网络结构。在一般情况下,  $N$  个变

量的可能的网络结构数目大于以  $N$  为指数的函数, 学习完全的贝叶斯网络结构是个 NP 难题。本文采用 BDe 评分函数和有启发规则指导的带随机重启的贪婪算法搜索网络结构。

(1) 评分函数。在得出 BDe 评分函数前, 需要几个假设: ①数据样本符合多项式分布; ②样本数据  $D$  是完整的, 没有缺失数据; ③参数向量独立同分布, 符合 Dirichlet 分布; ④参数变量只由节点及其父节点决定。在这四个假设的前提下, 对于给定的样本数据  $D$  和先验知识  $\xi$ , 其 BDe 评分函数如下所示<sup>[4-5]</sup>:

$$p(D, B_s^h | \xi) = p(B_s^h | \xi) \times \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^{q_i} \frac{\Gamma(N_{ij}')}{\Gamma(N_{ij}' + N_{ij})} \times \prod_{k=1}^{r_i} \frac{\Gamma(N_{ijk}')}{\Gamma(N_{ijk}' + N_{ijk})} \quad (1)$$

其中  $B_s^h$  为与离散化变量状态相关的网络结构假设,  $n$  是数据集中每条记录的变量个数;  $q_i$  是第  $i$  个变量的父节点集的配置个数;  $r_i$  是离散化变量  $X_i$  的状态个数;  $N_{ij}$  是  $D$  中第  $i$  个变量的父节点集配置为第  $j$  个且该变量的取值为第  $k$  个值的实例数;  $N_{ij}'$  为  $N_{ijk}$  对  $k$  求和;  $N_{ijk}'$  为 Dirichlet 分布的超参数, 其决定了贝叶斯网络的先验分布, 其值可以由专家给出, 但比较困难和繁琐, 在本实验中为了方便计算可都设为 1;  $N_{ij}'$  为  $N_{ijk}'$  对  $k$  的求和。

(2) 搜索算法。实验采用的搜索算法是带启发规则和随机重启的贪心算法。该算法利用领域先验知识制定一些启发规则, 例如断言某些节点之间一定有弧相连, 从而缩小搜索空间, 然后运用随机重启机制克服贪心算法可能陷入局部最优的缺点。本文的启发规则为: ①不可能存在有  $F$  指向  $T$  的边; ②不可能存在  $W$  指向  $T$  的边。经过编程实验得到贝叶斯网络结构如图 1 所示, 此时  $\log(p)=-13.621371$ 。

表 2 部分节点含义及状态

序号	飞机架数 $J$	飞行小时 $H$	飞行起落 $Q$	飞行技术 $F$	维修技术 $W$	恶劣天气比例 $T$	非常规飞行任务比例 $R$	消耗数量 $S$
1	36	5 354	15 028	0.88	0.87	0.23	0.082	2
2	49	8 339.5	23 981	0.8	0.81	0.31	0.109	7
3	28	4 663	12 619	0.79	0.78	0.32	0.120	2
4	64	12 139	30 530	0.87	0.91	0.25	0.068	6
...	...	...	...	...	...	...	...	...
16	12	3 277	8 662	0.95	1.08	0.24	0.054	1
17	35	5 753.5	15 657	0.69	0.65	0.35	0.159	4
18	48	8 652	19 180	0.9	1.06	0.26	0.065	5

表 3 部分节点离散化

序号	$J$	$H$	$Q$	$F$	$W$	$T$	$R$	$S$
1	s3_33_42	s3_5354_5753	s3_15028_15657	s3_8_9	s3_8_9	s1below_2	s3_7_9	s2_1_3
2	s4_42_56	s5_8339_8652	s6_23981_30530	s2_7_8	s2_7_8	s2_2_3	s4_9_11	s6_6_up
3	s2_20_33	s2_4663_5354	s2_12619_15028	s2_7_8	s2_7_8	s2_2_3	s5_11_14	s2_1_3
4	s5_56_up	s7_12139_up	s7_30530_up	s3_8_9	s3_8_9	s1below_2	s2_5_7	s5_5_6
...	...	...	...	...	...	...	...	...

应用奇葩

Example of Application

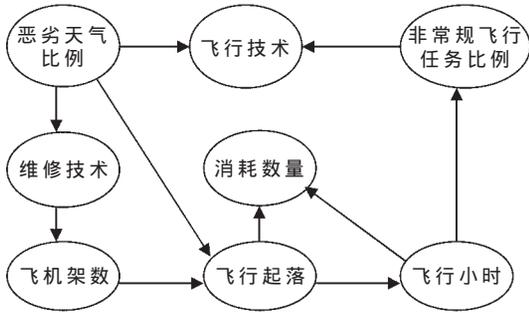


图1 贝叶斯网络结构

1.3 贝叶斯网络参数学习

当贝叶斯网络确定之后,贝叶斯网络的学习只需确定各个节点处的条件概率表即可,这种学习称为贝叶斯网络的参数学习(Parameter Learning)。在与学习网络结构相同的假设下,数据样本的参数先验分布为:

$$p(\theta_{ij} | B_s^h) = Dir(\theta_{ij} | N'_{ij1}, \dots, N'_{ijr}) = c \prod_{k=1}^r \theta_{ijk}^{N'_{ijk} - 1} \quad (2)$$

参数学习的贝叶斯算法考虑在给定网络结构的  $B_s^h$  下,参数  $\theta_{ij}$  的所有可能的取值,利用先验知识,寻求给定网络结构  $B_s^h$  和训练样本集  $D$  时具有最大后验概率的参数取值。根据 Dirichlet 分布函数的共轭特性,可以得出  $\theta_{ij}$  的后验分布如下:

$$p(\theta_{ij} | D, B_s^h) = Dir(\theta_{ij} | N'_{ij1} + N_{ij1}, \dots, N'_{ijr} + N_{ijr}, \dots, N'_{ijr} + N_{ijr}) = c \prod_{k=1}^r \theta_{ijk}^{N'_{ijk} + N_{ijk} - 1} \quad (3)$$

因此,参数  $\theta_{ijk}$  的期望值为:

$$\theta_{ijk} = \frac{N'_{ijk} + N_{ijk}}{N'_{ijr} + N_{ijr}} = \frac{1 + N'_{ijk}}{r_i + N_{ij}} \quad (4)$$

利用式(4)就可以算出贝叶斯网络后验分布参数,得到影响航材消耗各变量之间条件概率分布,从而得到航材消耗数量对于各影响因素的条件概率分布,进而对航材消耗进行预测。表4所示为节点S的条件概率分布表。

1.4 预测结果及分析

利用前10条数据训练好的贝叶斯网络结构和参数分布预测后8条数据的结果,得出的预测结果如表5所示。从学习到的网络结构中可以看出:(1)飞行员技术水

表4 节点S的条件概率分布表

S	H						
	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7
s1	0.895 85	0.020 83	0.020 83	0.020 83	0.020 83	0.020 83	0.020 83
s2	0.020 83	0.895 85	0.895 85	0.020 83	0.020 83	0.020 83	0.020 83
s3	0.020 83	0.020 83	0.020 83	0.895 85	0.020 83	0.020 83	0.020 83
s4	0.020 83	0.020 83	0.020 83	0.020 83	0.020 83	0.895 85	0.020 83
s5	0.020 83	0.020 83	0.020 83	0.020 83	0.020 83	0.020 83	0.895 85
s6	0.020 83	0.020 83	0.020 83	0.020 83	0.895 85	0.020 83	0.020 83

平对可修件的消耗不直接产生影响;(2)飞行起落和飞行时间是消耗数量的父节点,对可修件的消耗产生直接影响;(3)其他各个因素都间接对可修件消耗数量产生影响。由于贝叶斯网络的预测值为一段区间值,在实际应用中各单位决策人员可以根据自身的风险意识大小在预测区间内取不同的值,本实例中取区间的最大值作为预测结果,预测结果和实际消耗数量的对比如图2所示。



图2 预测结果比较

示,可以看到贝叶斯网络有很好的预测效果。

2 周转比例计算

在计算周转比例中需计算消耗定额,假定一个飞行单位有40架飞机,每年每架飞机飞行250h,单机安装数为2件,具体的参数和预测结果如表5中第9条数据。从表5的9条数据的预测结果可以得出预测结果为4~5件,出于安全和提高飞机完好率的考虑,取最大值5件。

由于可修件具有可修复的特性,在计算周转比例中,还需考虑修理器材的修理周期。假定此项器材修理周期为半年,周转定额的计算公式为:

$$QTY_n = k \times T_{rw} \times T_{nj} \times N_{pa} \times \frac{MF_n}{h_{fy}} \quad (5)$$

表5 贝叶斯网络预测结果

序号	J	H	Q	F	W	T	R	S	预测结果					
									below1	1_3	3_4	4_5	5_6	6_up
1	42	6 553	15 910	0.88	0.87	0.23	0.082	4	0.021	0.021	0.021	0.896	0.021	0.021
2	22	5 458	15 531	0.78	0.76	0.18	0.105	2	0.021	0.896	0.021	0.021	0.021	0.021
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
6	12	3 277	8 662	0.95	1.08	0.24	0.054	1	0.896	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021
7	35	5 753.5	15 657	0.69	0.65	0.35	0.159	4	0.021	0.021	0.896	0.021	0.021	0.021
8	48	9 652	29 180	0.9	1.06	0.26	0.065	5	0.021	0.021	0.021	0.021	0.896	0.021
9	40	10 000	28 000	0.85	0.86	0.21	0.095		0.021	0.021	0.021	0.896	0.021	0.021

式中  $QTY_n$  为周转定额,  $k$  为加权系数, 本实例中取  $k=1$ ,  $T_{no}$  为可修件返修周期,  $T_{mf}$  为单机月平均飞行小时,  $N_{pa}$  为单机安装数,  $MF_n$  为消耗定额,  $h_{fy}$  为单机年平均飞行小时。根据式(5)计算此项器材周转定额为  $1 \times 6 \times 20.83 \times 2 \times (5/250) = 5$  件。因此该器材的周转比例为  $5:40=1:8$ 。

以往在计算周转比例的消耗定额中,一般的做法就是简单地对历年消耗数量进行加权平均,未考虑影响航材消耗定额的各种不确定因素。针对这个问题,本文利用贝叶斯网络对航材可修件消耗进行了分析预测,采用模糊数学的方法对影响航材消耗的不可量化因素进行了处理,利用影响航材消耗各变量间的因果关系进行贝叶斯网络结构和参数的学习,得到了关于航材消耗的贝叶斯网络结构,预测了可修件的消耗定额并做了周转比例的计算。从预测结果和精度上看,把贝叶斯网络用于航材消耗预测是可行的,由于不需要建立精确的确定型数学模型,相较于传统的计算方法,贝叶斯网络建模对于研究不确定问题有着其特有的优势,因此把贝叶斯网络应用于航材周转比例的计算是可行的,可以较大地提

高航材周转比例的精度和实际应用价值。

#### 参考文献

- [1] 屈岐,张恒喜.航空后续备件周转比例计算[J].航空计算技术,2004,34(1):106-108.
- [2] 魏崇辉,金福祿,何亚群.基于粗糙集和神经网络的空军航材消耗预测方法[J].东南大学学报(自然科学版),2004(11):68-70.
- [3] 韩兴才,许百川,周中全.航材管理工程[M].北京:蓝天出版社,2003.
- [4] HECKERMAN D.A tutorial on learning with Bayesian network[R].Technical Report MSR-TR-95-06,Microsoft Research,1996:1-3.
- [5] HECKERMAN D,GEIGER D,CHICKERING D M.Learning Bayesian networks:the combination of knowledge and statistical data[R].Technical Report MSR-TR-94-09,Microsoft Research,1994:207-225.

(收稿日期:2011-06-19)

#### 作者简介:

张利旺,男,1985年生,硕士研究生,主要研究方向:航材管理工程。