

基于粗糙-灰色预测的装备维修资源 需求预测模型

朱亚红,曹继平,吴聪伟

(第二炮兵工程大学,西安 710025)

摘要:面向装备维修资源保障任务,首先采用粗糙集理论,通过属性约简算法,简化装备维修备件资源消耗影响因素,在此基础上利用灰色预测模型,对基于虚拟仓储的装备维修资源需求进行预测,通过与单一的灰色预测方法结果相比较,将粗糙集与灰色预测模型相融合的方法应用于装备维修备件资源预测的结果可靠、信息准确,并且预测值与实用值的相对误差和绝对误差很小,达到了准确预测的效果;从而验证了此模型与算法的有效性,为信息化战争中提高装备维修备件资源保障功能提供理论与方法支持。

关键词:装备维修保障资源;粗糙集;灰色预测;需求预测

本文引用格式:朱亚红,曹继平,吴聪伟.基于粗糙-灰色预测的装备维修资源需求预测模型[J].兵器装备工程学报,2016(10):142-146.

Citation format:ZHU Ya-hong, CAO Ji-ping, WU Cong-wei. Consumption Forecasting of Equipment Maintenance Support Resources Based on Rough Set-Gray Theory[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2016(10):142-146.

中图分类号:TP315

文献标识码:A

文章编号:2096-2304(2016)10-0142-05

Consumption Forecasting of Equipment Maintenance Support Resources Based on Rough Set-Gray Theory

ZHU Ya-hong, CAO Ji-ping, WU Cong-wei

(The Second Artillery Engineering University, Xi'an 710025, China)

Abstract: Faced to the assignment of equipment maintenance support resources, firstly, we adopted the rough set theory and simplified equipment maintenance spare parts resource consumption influence factors through attribute reduction algorithms, and on the basis of using grey prediction model, the demand for equipment maintenance based on virtual storage resources was forecasted, and compared with the results of single grey prediction method, the method of combining the rough sets and grey forecasting model of applied in equipment maintenance spare parts resources prediction result is reliable, and is accurate information, and the predicted value and the practical value of relative error and absolute error is very small, which achieved the effect of accurate prediction. As a result, this model and algorithm were proved to be effective to provide theoretical and practical support for equipment maintenance spare resources in information warfare.

Key words: equipment maintenance support resource; rough set; grey forecasting; consumption forecasting

在当代信息化战争条件下,导弹装备备件消耗量预测是进行备件保障、决策优化的基础性工作,只有在准确确定备件消耗量的基础上,才能合理地进行备件配置,实现备件供应最优化等,为更好的搞好装备工作、提高部队的保障能力奠定基础。

当前,对于备件消耗需求预测方法的研究主要有:Crosson^[1]首次从需求量和需求间隔两方面对备件消耗数据进行分析 and 预测;Syntetos^[2]等针对预测误差提出了改进的 Crosson 方法,在理论上做到了近似的无偏估计;Leven 等^[3]提出了慢速流动物资需求预测方法;赵建忠等^[4]提出了基于故障规律的导弹备件消耗预测方法和基于 Logistic 回归和 Markov 链组合预测模型^[5],解决了 Bootstrap 法小样本下重复抽样和仿真结果不可信的问题,预测精度大大提高;Snyder^[6]使用改进的 Bootstrap 预测方法实现了序列自相关性估计;Romeijnders 等^[7]建立了基于备件类型的分层次需求预测模型,减少预测误差高达 20%;Grange^[8]采用泊松分布、二项式分布、负二项分布和 β 分布模拟数据量,再根据产生的数据拟合分布,对间断型备件进行需求预测,充分解决了用简单拟合方法不贴切实际,说明只有一部分数据能够通过检验;Kamath 等^[9]采用 Bayesian 方法对不符合任何类型分布的备件需求数据进行了分析;李晓燕等针对战斗损伤的备件消耗建立了基于毁伤概率的仿真预测模型。

综上,现阶段对备件需求预测方法的研究主要集中在针对特定的历史消耗样本数据进行预测或假设样本数据服从某一类型分布而进行的消耗预测分析;然而,由于导弹武器

装备保障备件资源当前样本消耗数据信息量较少,部分数据分布函数不明确,采用当前的方法预测精度较低,缺乏一定的实际应用可行性。而“少数据、不确定性、贫信息、缺乏全方位认知”的灰色理论 GM(1,1)为导弹装备保障备件资源消耗预测提供了一种有效方法。但 GM(1,1)模型仍存在一些需要优化改进的地方。本文结合导弹装备保障备件资源需求预测实际,为了提高灰色模型的预测精度,提出一种基于粗糙—灰色预测模型方法,此方法应用于装备维修备件资源预测的结果可靠、信息准确,并且预测值与实用值的相对误差和绝对误差很小,达到了准确预测的效果,从而验证出此模型与算法的有效性,为信息化战争中提高装备维修备件资源保障功能提供理论与方法支持。

2 基于粗糙—灰色理论的备件需求预测

2.1 粗糙集与灰色理论结合的备件需求预测模型

粗糙集和灰色预测理论均为上世纪 80 年代提出的处理不精确问题的数学工具,其特点为无需所处理信息以外的任何先验信息。在基于虚拟仓储的装备维修备件的需求预测中,首先需要大量的历史消耗数据,这些数据中会存在冗余和不精确、不完备信息,粗糙集理论恰好可以很好的处理这些数据,进行属性约简,提取有用信息。灰色预测理论需求样本少,预测精度较高。因此,本文将粗糙集与灰色预测模型结合进行备件需求信息预测,其预测流程如图 1 所示。

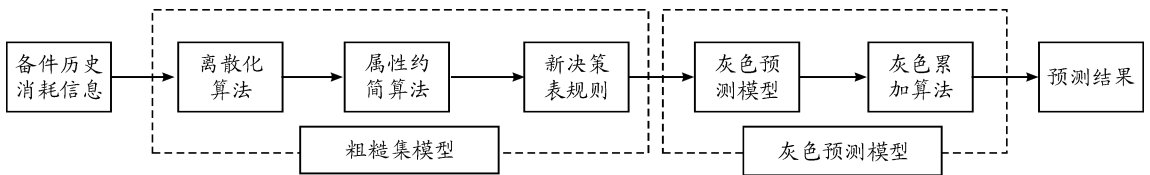


图 1 粗糙灰色预测理论备件需求信息预测流程

2.2 粗糙集模型

粗糙集理论是 Pawlak 于 1982 年提出来的,在粗糙集理论^[10]中:设系统 $S = (U, A, V, f)$ 是一个知识表达系统,其中 U 为论域, A 为属性集; $V = \bigcup_{\alpha \in A} V_{\alpha}$, V_{α} 是属性 α 的值域; $f: U \times A \rightarrow A$ 是一个信息函数,它为每个对象的每个属性赋予一个信息值,即 $\forall \alpha \in A, x \in U, f(x, \alpha) \in V_{\alpha}$,若 $A = C$,即不考虑决策属性时,知识表达系统 S 称为信息系统;若 $A = C \cup D, C \cap D = \emptyset, C$ 为条件属性值, D 为决策属性值,则知识表达系统 S 称为决策表。

2.2.1 数据离散化算法

首先利用粗糙集模型对装备维修备件历史消耗信息进行处理,粗糙集处理数据第一步就是对连续型数据离散化处理,粗糙集理论中对连续属性离散化的方法很多,在这里采用苗夺谦^[11-13]提出的基于动态层次聚类的连续属性离散化算法,此算法思想是:首先保证离散化后的决策表同离散化

前一样保持相容性一致,其次是寻找使得约简效率最高的聚类划分。该算法对聚类的数目无需事先指定,而是根据聚类后的决策表相容度的限制条件、聚类的距离阈值实现自动聚类。

2.2.2 属性约简算法

离散化处理数据之后,就要进行属性约简,其核心思想是在知识库分类能力保持不变的情况下,删除其中不相关或不重要的知识。本文采用基于重要性的属性约简算法,其算法如下:

- 1) $REDU = \text{核}$;
- 2) 候选属性集 $AR = C - REDU$;
- 3) 找出 AR 中具有最大属性重要性 $SGF(a, R, D)$ 的属性 a ;
- 4) 如果有多个属性 $\alpha_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 具有相同的最大重要性,则选取与 $REDU$ 具有最小属性取值组合的属性 α_i ;

5) $REDU = REDU \setminus \alpha_j$; $AR = AR - \alpha_j$;

6) 如果 $K(REDU, D) = 1$, 则算法终止, 否则转回 3)。

2.3 灰色预测模型

华中理工大学邓聚龙教授于 1982 年提出了灰色系统理论^[12]。在基于虚拟仓储的装备维修资源需求预测中, GM(1,1) 模型是由一个只包含单变量的一阶灰微分方程构成的模型, 基于灰色预测理论, 利用灰色模型进行装备维修资源需求预测的流程为:

步骤 1: 将原始序列 $x^{(0)}(t)$ 做一次累加生成累加数列

$$x^{(1)}(t), \text{ 即 } x^{(1)}(k) = \sum_{m=1}^k x^{(0)}(t);$$

步骤 2: 构成数据矩阵 B 与数据列 Y ;

步骤 3: 由 $\hat{a} = [a, b]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y$ 计算得到模型系数 a 和辨识参数 b ;

步骤 4: 建立时间响应模型 $\hat{x}^{(1)}(k+1) = [x^{(1)}(0) - b/a]e^{-at} + b/a, k=1, 2, \dots, n$;

步骤 5: 将 k 值代入离散模型式计算预测累加值 $\hat{x}^{(1)}(k)$;

步骤 6: 将预测累加值还原为预测值 $\hat{x}^{(0)}(k+1) =$

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k);$$

步骤 7: 计算出绝对误差 $\varepsilon^{(0)} = x^{(0)} - \hat{x}^{(0)}$ 及相对误差。

3 应用仿真实例

3.1 问题描述

装备维修资源虚拟仓储是由一个考虑生产单位、外部资源仓库、内部资源仓库和使用单位的信息共享联合保障结构。由控制中心对装备维修资源虚拟仓库实行统一的计划和管理, 各类成员向控制中心提供信息和控制权, 而各类内部成员之间地位平等、信息共享、自主协调; 同时为了满足安全性和全局优化的要求, 各类成员之间不进行自主交互。其中使用单位是装备维修资源虚拟仓储优化体系的保障对象, 它向控制中心发送的信息之一就是资源需求和消耗信息, 因而要对基于虚拟仓储的装备维修资源需求进行预测, 首先了解使用单位的备件资源消耗信息。

通过调研分析, 统计了某类装备某类备件 1998—2009 年的消耗情况如表 1 所示。

表 1 某型导弹备件 1998—2009 年消耗统计数据

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
年份	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
消耗量/件	32	28	40	34	20	25	35	42	38	33	24	36

3.2 应用实例仿真分析

3.2.1 实例分析建模

经过分析, 此类型备件消耗影响的主要因素属性集合为

$$R = \{A, B, C, D, E, F, G, H\}$$

具体表示如下:

A: 备件的自然损耗量, 在装备定检过程中出现的失效备件数作为自然损耗的备件数。

B: 环境影响因素, 依据气象部门的统计数据, 将天气情况分为: 正常、较恶劣、恶劣、极恶劣 4 个等级, 一年气候条件的评价值为各种天气比值的和, 即为:

$$B = \frac{1 \times B^{(1)} + 3 \times B^{(2)} + 5 \times B^{(3)} + 7 \times B^{(4)}}{365}$$

$$B^{(1)} + B^{(2)} + B^{(3)} + B^{(4)} = 365$$

B 的取值规则如表 2 所示。

表 2 气候条件取值规则

气候条件分类	等级	全年中所占的天数
正常	1	$B^{(1)}$
较恶劣	3	$B^{(2)}$
恶劣	5	$B^{(3)}$
极恶劣	7	$B^{(4)}$

C: 总通电时间, 依据记录数据统计出某型装备总测试时间(h)。

D: 备勤战备值班总时间, 依据平时训练计划可以统计出该型号装备年度执行备勤任务值班时间(h)。

E: 人为因素, 综合业务素质较低的人员在全体装备保障人员所占的比值为该影响因素的量化值, 以百分比作为量化值。

F: 拆卸次数, 年度使用、维修或定检中该备件被拆卸的总次数。

G: 执行任务时间, 根据平时训练计划统计该型导弹车载训练的总时间。

H: 年度关键任务次数, 将其作为量化值。

由于保密原因, 影响因素的相关数据不能一一列出, 对所有因素进行无量纲化处理。设该类备件 1998—2009 年的消耗影响因素组成集合为 $M = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12\}$, 对每一属性设一定的阈值, 1 表示在阈值之上, 0 表示未达到标准。将决策属性和条件属性进行分类, 将连续属性离散化。影响因素信息离散结果如表 3 所示。

由表 3 可以发现, B 的属性值在 12a 内只有一个不同, 这说明每年的环境因素对备件的影响程度基本稳定, 对预测不会有太大的影响, D 和 G 的属性大致相同, 所以可以保留 D 约简去 G , 继续利用本文所提出的算法进行属性约简。

表3 备件消耗影响因素信息

序号	影响因素量化值								
	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
2	1	0	0	1	0	0	0	0	0
3	1	0	1	0	0	0	0	0	0
4	1	0	0	1	1	1	1	1	0
5	0	0	1	0	0	0	0	0	1
6	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	0	0	1	1	0	1	1	1	0
9	1	0	1	0	1	1	0	0	1
10	1	0	1	1	1	1	1	1	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	1	0	1	1	1	1	1	1	1

设剩余条件属性全集为: $L = \{A, C, D, E, F, H\}$, 决策属性集设为 $P = \{\text{维修备件资源消耗量}\}$ 。首先通过计算得到 $Card(POS_c(P)) = 24$, 系统的核为 $REDU = \{\text{备件的自然损耗量, 总通电时间}\}$, $Card(POS_{Cred}(P)) = 16$, 然后, 计算剩余属性的重要性为:

$$SGF(D, REDU, P) = 15/24$$

$$SGF(E, REDU, P) = 2/24$$

$$SGF(F, REDU, P) = 3/24$$

$$SGF(POS_{Cred}(P)) = 15/24$$

由此可以看出属性 D, H 的具有相同的最大重要性, 因此, 由算法思想可知, 选取与 $REDU$ 具有最小属性取值组合的属性 D ; 对属性 E, F, H 继续上述过程, 可以算出属性 H 在此 3 个属性中具有最大重要性。此时, 算法终止。最终得到的属性约简结果为: $\{A, C, D, H\}$, 从而得到约简的新决策表如表 4。

表4 新决策

序号	A	B	C	D	序号	A	B	C	D
1	0	0	0	0	7	1	1	1	1
2	1	0	1	0	8	0	1	1	0
3	1	1	0	0	9	1	1	0	1
4	1	0	1	0	10	1	1	1	0
5	0	1	0	1	11	0	0	0	0
6	1	0	0	0	12	1	1	1	1

3.2.2 模型结果分析及检验

应用表 4 约简后所得到的条件属性的原始测试数据, 采用本文 2.3 节提出的灰色预测模型, 通过程序计算得出预测

值与实际值的拟合曲线(并与采用单一的灰色模型预测结果对比)如图 2 所示。

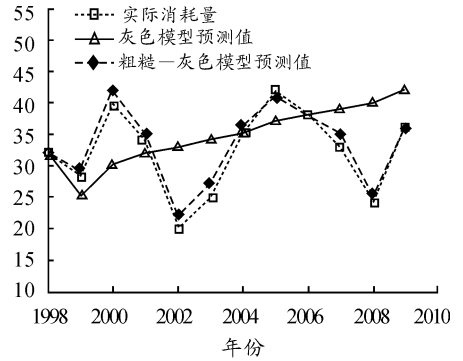


图2 消耗量预测曲线

采用相对误差(RPE)、平均相对误差(MAPE)和均方根相对误差(RMSE)对两种预测效果进行评判, 结果对比如表 5 所示(仅对 2007, 2008, 2009 三年比较)。

表5 预测误差对比

年份	实际值	灰色预测值	RPE	粗糙-灰色预测值	RPE
2007	33	38.921	-0.123 8	34.102	-0.026 9
2008	24	39.782	-0.263 1	24.251	-0.072 1
2009	36	41.273	-0.216 7	35.832	-0.012 8
MAPE			0.057 1		0.042 1
RMSE			0.063 2		0.041 8

通过图 2 和表 5 可以发现, 本文提出的粗糙-灰色相融合的装备维修资源备件预测方法较好。

4 结束语

本文首先采用粗糙集理论, 通过属性约简算法, 简化装备维修备件资源消耗影响因素, 在此基础上利用灰色预测模型, 对基于虚拟仓储的装备维修资源需求进行预测, 通过与单一的灰色预测方法结果相比较, 由图 2 与表 5 的结果可以看出, 将粗糙集与灰色预测模型相融合的方法应用于装备维修备件资源预测的结果可靠、信息准确, 并且预测值与实际值的相对误差和绝对误差很小, 达到了准确预测的效果。本文实现了装备维修备件虚拟仓储理论中的备件需求预测问题, 后续还需要对维修备件虚拟仓储理论进行深入研究, 同时对虚拟仓储中的库存优化理论深入分析, 建立装备维修资源的库存优化体系, 为信息化战争中提高装备维修备件资源保障功能提供理论与方法支持。

参考文献:

[1] CROSTON J. Forecasting and Stock Control for Intermittent

- Demands [J]. *Operational Research Quarterly*, 1997, 23 (3):289-303.
- [2] SYNETO A A, BOYLAN J E. On the Bias of Intermittent Demand Estimate [J]. *International Journal of Production Economics*, 2001, 71 (1/2/3):457-466.
- [3] LEVEN E, SEGERSTEDT A. Inventory Control with a Modified Croston Procedure and Erlangdistribution [J]. *International Journal of Production Economics*, 2004, 90 (3):361-367.
- [4] 赵建忠, 朱伟, 徐恒博, 等. 基于故障规律的导弹备件消耗预测 [J]. *战术导弹技术*, 2012 (5):44-49.
- [5] 赵建忠, 徐廷学, 李海军, 等. 基于 Logistic 回归、Markov 过程和改进灰自助法的导弹备件需求预测 [J]. *科技导报*, 2013, 31 (16):51-55.
- [6] SNYDER R. Forecasting Key Spare Parts of Complex Equipments by Combining Fuzzy Neural Network and Particle Swarm Optimization [J]. *Computer Applications and Software*, 2014, 31 (10):167-171.
- [7] ROMELINDERS W, TEUNTER R, VAN JAA RSVELDW. A Two-step Method for Forecasting Spare Parts Demand Using Information on Component Repairs [J]. *European Journal of Operational Research*, 2012, 220 (2):386-393.
- [8] GRANGE F. Challenges in Modeling Demand for Inventory Optimization of Slow Moving Items [C]// *Simulation Conference Proceedings*. Washington, DC: IEEE, 1998: 1211-1217.
- [9] KAMATH K R, PAKKALA T P M. A Bayesian Approach to a Dynamic Inventory Model Under Unknown Demand Distributing [J]. *Computers and operations research*, 2002, 29 (4):403-422.
- [10] 张光铁, 苏艳琴, 马颖亮, 等. 一种融合粗糙集与灰模的装备故障预测方法 [J]. *计算机测量与控制*, 2012, 20 (2):291-293.
- [11] 苗夺谦. Rough Set 理论中连续属性的离散化方法 [J]. *自动化学报*, 2001 (5):296-302.
- [12] 李梁, 张建刚. 基于粗糙集与关联规则的教师科研能力评价 [J]. *重庆理工大学学报(自然科学)*, 2014 (1):69-74.
- [13] 李树广, 杨泽, 郝云忱. 基于 GM(1,1) 的装备维修备件需求量预测研究 [J]. *实验技术与管理*, 2008, 11 (11):178-180.
- [14] 刘彦, 陈春良, 石文华, 等. 基于 STT 与粗糙集的装甲装备使用阶段质量评价研究 [J]. *兵工自动化*, 2015 (8):27-31.

(责任编辑 唐定国)

(上接第 120 页)

- [10] SHI Bing, JIN Ye. A Framework of Virtual Prototyping Environment for the Design and Analysis of Mechanical Mechanism with Clearance [J]. *Virtual and Physical Prototyping*, 2007, 2 (1):21-28.
- [11] 卢利平, 唐龙, 岳恩, 等. 镍电阻丝的制备及电阻温度特性 [J]. *四川兵工学报*, 2013 (12):113-115.
- [12] 张浙, 刘登瀛. 非傅里叶热传导研究进展 [J]. *力学进展*, 2000 (03):446-456.
- [13] CubeSat Design Specification Rev. 12 [Z]. California State Polytechnic University, 2010.
- [14] Jakob Fromm Pedersen, Vega CubeSats ICDis0rev4, ESA, EuropeanSpace Research and Technology Centre-Keplerlaan1 [Z]. Noordwijk, The Netherlands, 2009.
- [15] PILATO L A, MICHNO M J. *Advanced Composite Materials* [Z]. Springer, 1994.
- [16] 张欢, 刘海平, 刘天雄. 航天器火工冲击载荷减缓设计及验证 [J]. *装备环境工程*, 2015 (3):34-41.

(责任编辑 唐定国)