

doi: 10.7690/bgzd.2013.01.003

基于 IOWA 算子的装备备件需求量组合预测模型

梅国建, 钟波, 张向波, 赵中凯

(装甲兵工程学院技术保障工程系, 北京 100072)

摘要: 针对传统预测模型在预测过程中信息利用不充分和预测对象复杂多变的问题, 建立一种基于 IOWA 算子的最优组合预测模型。该模型利用 IOWA 算子集合灰色系统建模和小波神经网络处理非线性复杂系统的优点, 以误差平方和为准则对数据进行分析, 并利用 Matlab 工具箱对其进行优化计算, 从而得出最优组合预测结果。实例分析结果验证了该组合预测模型的科学性和优越性。

关键词: 备件; 需求量; IOWA 算子; 组合预测

中图分类号: TJ02 **文献标志码:** A

Combination Forecasting Model of Equipment Spare Parts Demand Based on IOWA Operator

Mei Guojian, Zhong Bo, Zhang Xiangbo, Zhao Zhongkai

(Department of Technical Support Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China)

Abstract: Aiming at the problems of not fully utilizing the data, complicated and changeable of the forecasting target during the traditional predicting, a combination forecasting model based on induced ordered weighted average (IOWA) operator is put forward. This model utilizes IOWA operator to assemble the advantages of the grey systematic and wavelet neural network, analyzes the data based on the square of error and uses Matlab toolbox for optimize calculating to get the best result. The example analysis result shows that the combination model is scientifically and ascendantly.

Key words: spare parts; requirements; IOWA operator; combination forecasting

0 引言

准确预测装备维修器材的需求数量是器材管理部门、总部单位制定器材筹措计划和仓储决策的前提, 也是提高保障能力的基础。长期以来, 我军器材需求量主要依据部队计划任务、定额资料等信息进行直接对比计算或者经验估计, 不利于器材管理的标准化、精细化建设; 传统的预测模型主要是利用不同的预测方法建立模型, 对预测结果进行分析, 然后根据预测精度筛选出最佳预测模型, 而单个预测方法由于建模机制和建模思路的不同, 往往在数据信息挖掘和价值利用上存在先天不足, 但是文献[1]表明, 不同单个预测模型之间虽然各有优劣, 但它们之间并不互相排斥, 而是相互联系, 相互补充的; Bates 和 Granger 证明了 2 种或 2 种以上无偏的单项预测可以组合出优于每个单项的组合模型^[2]。笔者根据组合预测建模原理和 Yager^[3]的建模思路, 建立了基于 IOWA 诱导算子的装备备件组合预测模型, 并从模型的原理、构造、应用等方面阐述了该方法较之其他组合模型的科学性和优越性。

1 备件需求量组合预测模型分析

GM(1,1)模型是最常用的一种灰色预测模型, 具有原理简单、运算方便、要求数据样本少、短期预测精度高、可检验性强等特点, 但对于非线性、多影响因素系统, 预测时表现出明显的缺陷。神经网络模型具有自学习、自组织和自适应的特点, 还兼备并行结构和并行处理以及知识的分布储存、容错性等优越特性。将 2 种预测方法进行组合, 可以充分挖掘和集结历史数据之间信息, 大大提高需求量预测水平。

但是, 目前组合预测常用的建模思路主要是利用最小二乘法, 依据单项方法预测情况的不同而赋予不同的加权系数, 而且该系数对于某一单项预测方法在特定的样本区间各个时刻是不变的。而实际预测过程中, 预测对象常常是一个复杂、动态变化的系统, 不同时刻表现可能不同, 因此现行的组合预测模型在赋权方法上存在较大缺陷。为了克服传统组合预测模型固定权系数赋权的思想缺陷, 笔者利用 IOWA 诱导算子分析每个预测模型在不同的样

收稿日期: 2012-09-18; 修回日期: 2012-10-24

作者简介: 梅国建(1955—), 男, 河南人, 教授, 从事装备管理研究。

本区间预测精度的高低, 以误差平方和为准则对各个模型不同时刻进行赋权, 给出了新型信息融合的组合预测建模方法。

在实际对单个模型进行组合预测的过程中, 笔者经常发现某些模型的加入对提高预测精度并没有很大作用, 没有随着模型数的增加而使组合预测模型精度成线性增长。针对以上情况, 基于 IOWA 诱导算子的组合预测模型还具有鉴别模型冗余性的优点: 若在任意时刻, 某个预测方法最优权系数均为 1, 则表明该单项预测模型值为组合预测值, 而其他方法为冗余方法, 不提供任何信息; 若任意时刻某预测模型最优权系数全为 0, 则表示该预测方法为冗余方法, 可以从组合模型中去除。

2 基于 IOWA 算子的组合预测模型

2.1 IOWA 算子

IOWA 算子是介于最大算子和最小算子之间的一种信息集成方法, 常规的加权算术平均算子是其特例, 其定义如下:

$$\text{IOWA}_L = \left(\langle a_{1t}, x_{1t} \rangle, \langle a_{2t}, x_{2t} \rangle, \dots, \langle a_{mt}, x_{mt} \rangle \right) = \sum_{i=1}^m k_i x_{a\text{-index}(it)} \quad (i=1, 2, \dots, m; t=1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

其中: a_{it} 为第 i 种单项预测模型第 t 时刻预测精度; x_{it} 为第 i 种预测方法在第 t 时刻的预测值; $a\text{-index}(it)$ 是 a_{it} 从小到大排列时第 i 个大的预测精度的下标; k_i 为第 i 种单项预测在组合预测中的加权系数, 且满足 $\sum_{i=1}^m k_i = 1, k_i \geq 0$ 。

2.2 IOWA 组合模型的原理与构建

IOWA 组合预测模型的建立主要依据各预测模型的精度大小, 建立基于误差精度的诱导模型和信息矩阵, 以误差平方和为准则构建最优化模型, 利用 Matlab 工具箱对其进行优化计算, 得到各样本区间单个预测模型权值, 从而得出组合预测值。具体步骤如下:

1) 根据单个预测模型的预测样本值, 利用公式 (2) 计算 t 时刻各预测模型的精度, 把预测精度 a_{it} 看

成预测值 x_{it} 的诱导值, 从而构建 m 个预测精度与预测值的二维数组, 即:

$$\langle a_{1t}, x_{1t} \rangle, \langle a_{2t}, x_{2t} \rangle, \langle a_{3t}, x_{3t} \rangle, \dots, \langle a_{mt}, x_{mt} \rangle$$

$$a_{it} = \begin{cases} 1 - |(x_t - x_{it}) / x_t| & |(x_t - x_{it}) / x_t| < 1 \\ 0 & |(x_t - x_{it}) / x_t| \geq 1 \end{cases}$$

$$(i=1, 2, \dots, m; t=1, 2, 3, \dots, n) \quad (2)$$

其中: x_t 为预测对象在第 t 时刻的历史实际值。

2) 根据各模型预测值, 得出预测误差, 以误差精度大小为依据, 构建误差信息矩阵 E 。

$$E_{ij} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^l e_{a\text{-index}(jt)} e_{a\text{-index}(it)}$$

$$(i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, l) \quad (3)$$

其中: $e_{a\text{-index}(it)} = x_t - x_{a\text{-index}(it)}$ 为第 t 时刻第 i 大的预测精度的误差值。

3) 为建立最优化的数学模型, 笔者选用误差平方和最小为准则, 通过简单的数学变换, 构建组合预测模型的如下最优化模型, 即

$$\min S(L) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^l k_i k_j \left(\sum_{i=1}^m e_{a\text{-index}(it)} e_{a\text{-index}(jt)} \right) \quad (4)$$

$$\text{s.t.} = \begin{cases} \sum_{i=1}^m k_i = 1 \\ k_i \geq 0, (i=1, 2, \dots, m) \end{cases}$$

4) 利用 Matlab 最优化工具箱对模型进行求解, 得出各预测模型在各样本区间的加权系数。

5) 根据式 (1) 的诱导规则得出各时刻组合预测模型预测值。

3 基本流程分析

鉴于预测对象影响因素多、不确定性强等特点, 文中神经网络模型选用小波神经网络模型, 该模型除了具备神经网络的一般优点以外, 更能有效地提取数据局部信息, 学习能力更强, 精度更高, 速度更快。

灰色预测和神经网络的组合方式有很多种, 笔者采用的是先将 GM(1,1) 模型和小波神经网络模型单独对装备器材需求量进行预测, 然后再利用 IOWA 诱导算子对其预测信息进行集结。具体步骤如图 1 所示。

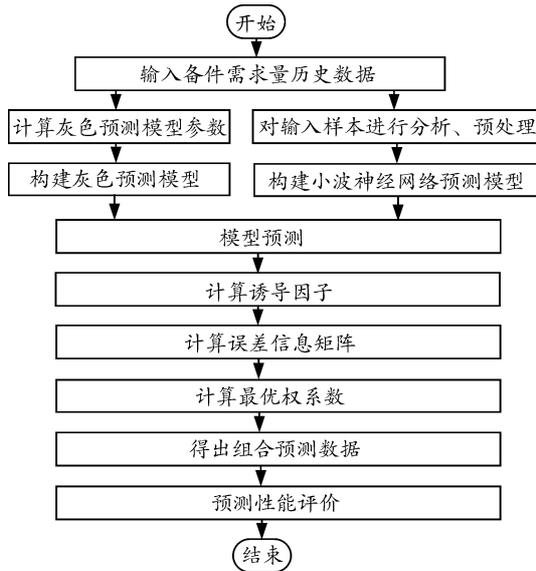


图 1 组合预测模型流程

4 组合预测模型实例应用

4.1 数据样本的选取与预处理

笔者选取某单位 2002—2010 年装甲装备备件 A 需求情况为研究对象。

装甲装备备件需求情况受到很多不确定、相互关联因素的影响，是一个复杂的灰色系统；因此，笔者除了采集历史需求数据以外，还将针对单位实际分析，挑选出主要影响因素作为模型的输入，以提高预测准确性。

1) 数据样本的选取。

科学选择数据样本对于减少理化因子带来的干扰，提高网络预测水平具有重要作用，也是整个组合预测模型预测效果的基础。

在选择影响因素时应遵循以下原则^[4]：

- ① 所选择数据对预测对象影响效果明显；
- ② 所选择数据之间没有关联性；
- ③ 数据选择要结合各单位实际。

针对所选取的特定预测对象，笔者选择器材使用可靠性、使用强度、管理水平、装备技术状况、历史需求数据作为输入样本数据序列。

2) 数据样本的分析。

备件的使用可靠性与备件平均使用时间紧密相关，可以利用备件的平均使用时间衡量备件的可靠性；使用强度则利用年度消耗摩托小时来衡量；装备管理水平影响因素很多，笔者选取文献[5]中提到的指标和方法对其进行评比和量化；装备技术状况则依据文献[6]中的评分标准对其进行量化。

根据以上数据选择的原则和量化分析方法，得

到该单位装备备件 A 在 2002—2010 年间各项数据指标，如表 1 所示。

表 1 装备备件 A 影响因素及原始需求量数据

年份	器材质量/h	装备技术状况	年度消耗摩托小时/h	器材管理水平	器材消耗量
2002	260	0.96	4 242	35.64	57
2003	287	0.92	4 372	44.18	65
2004	269	0.87	4 842	48.45	75
2005	280	0.82	5 382	52.56	82
2006	362	0.76	5 692	56.94	92
2007	370	0.74	6 292	60.31	102
2008	376	0.69	6 908	64.03	119
2009	385	0.69	6 887	66.88	143
2010	374	0.64	6 992	69.88	169

4.2 灰色预测模型预测

根据灰色预测的建模方法，笔者将以 2002—2007 年间的备件 A 需求量为样本数据，建立灰色预测模型，预测 2002—2010 年灰色预测结果。

4.3 小波神经网络预测模型预测

根据小波神经网络的建模思路，首先利用 Matlab 对输入和检验数据进行预处理，消除其量纲，提高收敛速度；然后确定模型结构和相关参数，根据前期数据选择的结果，确定网络的输入层为 4 个神经元，同时，由 Kolmogorow 定理可得，隐含层神经元个数为 9 个，输出神经元为 1 个，即建立 4-9-1 的网络结构模型；传输函数为 morlet 和 purelin，训练函数为 trainlm，学习率为 0.1，动量系数为 0.5，学习误差为 0.01，步长为 1 000。

待模型结构和参数确定以后，以 2002—2007 年备件需求量数据为输入，实现对 2002—2010 年备件需求的预测，最终得到表 2。

表 2 2 个预测模型的预测数据对比

年份	备件需求量	灰色预测值	小波神经网络预测值
2002	57	57.00	52.70
2003	65	61.14	66.68
2004	75	70.33	79.09
2005	82	80.91	84.46
2006	92	93.07	93.17
2007	102	107.07	104.55
2008	119	123.17	118.13
2009	143	141.70	148.75
2010	169	163.01	165.82

4.4 组合预测模型预测

1) 利用 IOWA 诱导有序数列。

根据组合预测建模思路，利用式 (2) 计算 2 种预测模型各时间备件需求的预测精度，如表 3 所示。表 3 中预测方法 1 为灰色预测模型，预测方法 2 为小波神经网络预测模型。

表 3 各单项预测方法预测精度

年份	方法 1	方法 2	年份	方法 1	方法 2
2002	1.000 0	0.924 6	2007	0.950 3	0.975 0
2003	0.940 6	0.974 2	2008	0.964 9	0.992 7
2004	0.937 7	0.945 5	2009	0.990 9	0.959 8
2005	0.986 7	0.970 0	2010	0.964 5	0.981 2
2006	0.988 3	0.987 3			

然后根据诱导因子得到各时间的组合预测值, 表示为:

$$\begin{aligned}
 & \text{IOWA}(\langle a_{11}, x_{11} \rangle, \langle a_{21}, x_{21} \rangle) = \\
 & \text{IOWA}_K(\langle 1, 57 \rangle, \langle 0.9246, 52.70 \rangle) = \\
 & 57k_1 + 52.70k_2 \\
 & \vdots \\
 & \text{IOWA}(\langle a_{19}, x_{19} \rangle, \langle a_{29}, x_{29} \rangle) = \\
 & \text{IOWA}_K(\langle 0.9812, 165.82 \rangle, \langle 0.9645, 163.01 \rangle) = \\
 & 165.82k_1 + 163.01k_2
 \end{aligned} \tag{5}$$

2) 建立误差信息矩阵。

根据式 (3) 的建模思路构建基于诱导有序数列的误差信息矩阵, 即:

$$E = \begin{bmatrix} 40.9453 & -6.1408 \\ -6.1408 & 174.6554 \end{bmatrix}$$

3) 计算最优权系数。

由模型化的计算公式 (4) 经过简单的数学变换得到最优化模型如下:

$$\begin{aligned}
 \min S(k_1, k_2) &= 40.9453k_1^2 - 12.2816k_1k_2 + 174.6554k_2^2 \\
 \text{s.t.} & \begin{cases} k_1 + k_2 = 1 \\ k_1 \geq 0, k_2 \geq 0 \end{cases}
 \end{aligned}$$

利用 Matlab 最优化工具箱得出组合预测模型中单个预测模型各最优权系数为:

$$k_1 = 0.2066, \quad k_2 = 0.7934$$

4) 组合预测模型预测

经过以上建模计算, 文中模型得到最优权系数为 0.2066 和 0.7934。数据表明 2 种预测模型未出现冗余现象, 该组合预测模型为可变权最优化模型。然后根据式 (5) 的诱导组合模型得到如表 4 的组合预测值。

表 4 器材需求组合预测统计数据

年份	器材消耗量	器材预测消耗量	预测残差
2002	57	53.59	3.41
2003	65	65.53	-0.53
2004	75	77.28	-2.28
2005	82	83.73	-1.73
2006	92	93.15	-1.15
2007	102	105.07	-3.07
2008	119	119.17	-0.17
2009	143	147.29	-4.29
2010	169	165.24	3.76

4.5 预测性能分析

为了检验预测效果的有效性, 笔者选用均方

误差 MSE 和平均绝对误差 MAE 2 个指标对预测数据进行全面对比分析, 分析结果如表 5。表中方法 1、2 为上述所提到的预测方法, 方法 3 为组合预测方法。

表 5 各预测方法性能对比表

性能指标	方法 1	方法 2	方法 3
MSE	3.648 9	3.264 1	2.299 7
MAE	2.268 3	2.170 8	1.699 2

同时, 根据各模型需求预测结果, 绘制 3 种模型预测结果对比图, 如图 2 所示。

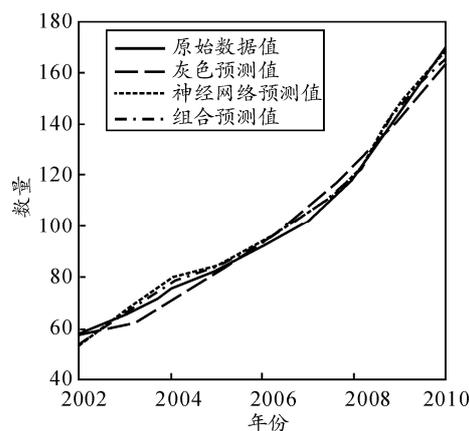


图 2 各模型预测值与原始值对比

5 结论

笔者从集结高效数据信息的角度, 构建了基于 IOWA 算子的组合预测模型。该模型在预测过程中能更充分整合和处理各种不确定、不完整信息, 使得预测结果更加稳健和可靠。与常用的赋权方法相比, 该模型构建更科学, 数据利用更高效, 适用价值更优越。

参考文献:

- [1] 傅德印, 刘晓梅. 预测方法与应用[M]. 北京: 中国统计出版社, 2003.
- [2] Bate J M, Grangere C. The Combination of Forecast [J]. Operation Research Quarterly, 1969, 20: 451-458.
- [3] Yager R R. On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision making[J]. IEEE Transaction on System, Man and Cybernetics, 1988, 18, 183-190.
- [4] 卢庆龄, 白盟亮, 彭艳丽, 等. 基于灰色神经网络的装甲器材需求量预测[J]. 北京: 装甲兵工程学院, 2011, 25(6): 21.
- [5] 廉恩杰. 装甲器材仓库物流能力评价研究[M]. 北京: 装甲兵工程学院, 2009.
- [6] 梅国建. 装甲装备车务管理[M]. 北京: 装甲兵工程学院, 2008: 132-133.