

# 鱼雷武器系统基地级维修时间的模糊灰色模型

梁庆卫, 宋保维, 潘 光

(西北工业大学航海学院, 西安 710072)

**摘 要:** 鱼雷武器系统3级维修中, 基地级维修费用最高。为了合理利用资金, 需预测基地级维修时间。根据模糊理论的思想, 提出了灰色GM(1,1)模型的拓广形式——灰色AGM(1,1, )模型, 并用层次分析法来确定最优加权因子, 结合实例建立了鱼雷武器系统基地级维修时间预测模型。结果表明, 这种方法能达到令人满意的精度, 具有实用价值。

**关键词:** 鱼雷武器系统; 基地级维修时间; 模糊灰色AGM(1,1, )模型; 层次分析法

## Fuzzy Grey Model of Base Level Maintenance Time for Torpedo Weapon System

LIANG Qingwei, SONG Baowei, PAN Guang

(College of Marine, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

**【Abstract】** The maintenance cost of base level for torpedo weapon system is the highest in the three levels maintenance costs. The maintenance time of base level should be forecasted to use money in reason. Based on the thought of fuzzy theory, the AGM(1,1, ) model is brought forward, which is developed form of grey GM(1,1) model. At the same time, AHP method is used in confirming the best weight value of the AGM(1,1, ) model. As an example, a model of base level maintenance time model for torpedo weapon system is set up. Result indicates that this method can achieve satisfactory precision, and has practical value.

**【Key words】** Torpedo weapon system; Base level maintenance time; Fuzzy grey AGM(1,1, ) model; Analytic hierarchy process

鱼雷武器系统一般实行3级维修: 基层级维修, 中继级维修, 基地级维修。基层级维修是由鱼雷武器系统的使用人员与一般维修人员一起, 利用保障、测试设备, 在鱼雷武器系统所在场地进行的维修, 所需费用较低(本文所涉及的费用均不包括备件费用)。中继级维修是以前所属的专业维修人员, 利用专用维修保障设备, 在本级专用维修车间(或在鱼雷武器系统所在场地)进行的维修, 所需费用较高。基地级维修是由本级所配属的专业技术人员或鱼雷武器系统研制生产厂的技术人员, 利用该级配置的各种通用设备和专用设备, 在专用基地或鱼雷武器生产厂所进行的维修。它可以排除鱼雷武器系统的各种故障, 通常是对前两级无法维修的故障进行维修。基地级维修的费用最高。

鱼雷武器系统基地级维修所需的维修费用最高, 为了更好地分配资金, 不使维修资金需求量大时资金不足而造成维修不及时, 也不使维修资金需求小时造成资金的闲置, 需对基地级维修时间作出预测。

### 1 模糊灰色AGM(1,1, )模型

#### 1.1 灰色GM(1,1)模型的拓广

设原始序列为

$$X^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)) \quad (1)$$

则序列  $X^{(1)}$  为

$$X^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)) \quad (2)$$

其中,  $x^{(1)}(k) = \sum_{j=1}^k x^{(0)}(j)$ ,  $(k=1, 2, \dots, n)$ , 为  $X^{(0)}$  的1-AGO序列。

(1)  $X^{(0)}$  序列准光滑性检验

$X^{(0)}$  序列的光滑比为

$$\rho(k) = \frac{x^{(0)}(k)}{x^{(1)}(k-1)} \quad (3)$$

若序列满足

$$\begin{aligned} 1) & \frac{\rho(k+1)}{\rho(k)} < 1, \quad k=2, 3, \dots, n-1; \\ 2) & \rho(k) \in [0, \varepsilon], \quad k=3, 4, \dots, n; \\ 3) & \varepsilon < 0.5. \end{aligned}$$

则称  $X^{(0)}$  为准光滑序列。

(2)  $X^{(1)}$  准指数规律检验

$X^{(1)}$  序列的级比为

$$\sigma(k) = \frac{x^{(1)}(k)}{x^{(1)}(k-1)}, \quad k=3, 4, \dots, n \quad (4)$$

若对任意  $k$ ,  $\sigma(k) \in [a, b]$ ,  $b-a=\delta$ , 则称序列  $X^{(1)}$  具有绝对灰度为  $\delta$  的灰指数规律。当  $\delta < 0.5$  时, 称  $X^{(1)}$  具有准指数规律。

(3) 灰色AGM(1,1, )模型的建立

称

**基金项目:** 国防“十五”预研课题; 西北工业大学博士论文创新基金资助项目(CX200304)

**作者简介:** 梁庆卫(1970), 女, 博士, 主研方向: 武器系统与运用工程; 宋保维, 博士、教授; 潘光, 博士、副教授

**收稿日期:** 2006-03-22 **E-mail:** liangqingwei@sina.com.cn

$$x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b \quad (5)$$

为 GM(1,1) 灰微分方程。

称

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b \quad (6)$$

为 GM(1,1) 灰微分方程的白化方程。

GM(1,1) 模型的近似时间响应式为

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = (x^{(1)}(0) - \frac{b}{a})e^{-ak} + \frac{b}{a} \quad (7)$$

由微分定义知式(6)中

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{x(t + \Delta t) - x(t)}{\Delta t} \quad (8)$$

在灰色系统理论中，尽管  $\Delta t$  形式上可写成  $\Delta t \rightarrow 0$ ，但  $\Delta t$  等于一个单位这一性质未改变，所以

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} = x^{(1)}(k+1) - x(k) \quad (9)$$

GM(1,1) 的微分方程可记为离散形式

$$x^{(1)}(t+1) - x^{(1)}(t) + ax^{(1)}(t) = b \quad (10)^{[3]}$$

若将式(10)视为后向差分，则还可写出前向差分形式。文献[3]将后向差分和前向差分加权组合，得到了 GM(1,1) 模型。根据模糊理论的思想，本文认为后向差分应是最可能的取值，往两边的可能性会减少，但也是有可能的，因此以后向差分为中心，可写出与后向差分前后相差 0.5 的 2 种差分形式

$$x^{(1)}(k+1) - x^{(1)}(k) + ax^{(1)}(k-0.5) = b \quad (11)$$

$$x^{(1)}(k+1) - x^{(1)}(k) + ax^{(1)}(k+0.5) = b \quad (12)$$

为了更一般化，将式(10)、式(11)、式(12)加权组合，则得一般差分格式为

$$x^{(1)}(k+1) - x^{(1)}(k) = -a[\omega_1 x^{(1)}(k-0.5) + \omega_2 x^{(1)}(k) + \omega_3 x^{(1)}(k+0.5)] + b \quad (13)$$

其中  $\omega_1$ ， $\omega_2$ ， $\omega_3$  为加权因子， $0 \leq \omega_1 \leq 1$ ， $0 \leq \omega_2 \leq 1$ ， $0 \leq \omega_3 \leq 1$ ，且  $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$ 。

式(10)是式(6)在 k 点的后向差分，式(11)和式(12)是对式(10)的扩展，将点差分模糊化，这样，式(13)不光利用了 k 点的数据，还利用了相邻点的数据，减弱了样本异常点(野点)的影响。

当  $x^{(0)}(k) \geq 0$ ， $x^{(1)}(k)$  单调上升时， $x^{(1)}(k+1) - x^{(1)}(k)$  与  $x^{(1)}(k-0.5)$ 、 $x^{(1)}(k)$  和  $x^{(1)}(k+0.5)$  有明显的正相关关系，便有

$$B^* = \begin{bmatrix} -[\omega_1^* x^{(1)}(0.5) + \omega_2^* x^{(1)}(1) + \omega_3^* x^{(1)}(1.5)] & 1 \\ -[\omega_1^* x^{(1)}(1.5) + \omega_2^* x^{(1)}(2) + \omega_3^* x^{(1)}(2.5)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -[\omega_1^* x^{(1)}(n-1.5) + \omega_2^* x^{(1)}(n-1) + \omega_3^* x^{(1)}(n-0.5)] & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

式中， $\omega_i^*$  ( $i=1, 2, 3$ ) 和  $B^*$  为最优加权因子和最优 B 矩阵，

$x^{(1)}(k-0.5)$  为  $\frac{1}{2}[x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k-1)]$ ， $x^{(1)}(k+0.5)$  为

$$\frac{1}{2}[x^{(1)}(k+1) + x^{(1)}(k)]。$$

$$Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix} \quad (15)$$

则参数列  $\hat{a} = [a, b]^T$  的最小二乘估计为

$$\hat{a} = (B^{*T} B^*)^{-1} B^{*T} Y \quad (16)$$

模型的近似时间响应式为

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = (x^{(1)}(0) - \frac{b}{a})e^{-ak} + \frac{b}{a} \quad (17)$$

其中  $x^{(1)}(0)$  取为  $x^{(0)}(1)$ 。

累减还原式为

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = a^{(1)} \hat{x}^{(1)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) \quad (18)$$

此即为灰色 GM(1,1) 模型的推广形式 AGM(1,1) 模型。

GM(1,1) 模型实际为 AGM(1,1) 模型在  $\omega_1 = \omega_2 = 0$  时的特例，并不是所有情况下序列预测的最优模型。针对不同情况寻求不同的  $\omega_i^*$  ( $i=1, 2, 3$ ) 值，可提高预测模型的适应性，使预测精度得到提高。

## 1.2 最优加权因子的确定

最优加权因子的确定由很多模糊因素决定，因此，根据层次分析法的思路，对最优加权因子进行选择。邀请鱼雷专家对用于鱼雷 AGM(1,1) 模型的 3 种差分形式的重要性两两进行比较，得成对比较评价矩阵，进而可计算出最优加权因子。

成对比较矩阵为

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \quad (19)$$

其中， $a_{ij}$  为  $A_i$  和  $A_j$  重要程度的比值(后向差分前 0.5 的差分形式为  $A_1$ ，后向差分为  $A_2$ ，后向差分后 0.5 的差分形式为  $A_3$ )。

A 阵的最大特征值对应的特征向量即为  $A_1$ ， $A_2$ ， $A_3$  的权重。A 阵需经一致性检验。

## 1.3 模型的评价

确定了模型之后，需评价拟合的优劣，也就是评价实际值和估计值之间的接近程度，灰色系统理论中最常用的是相对误差检验。

设原始序列

$$X^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)),$$

相应的模型模拟序列为

$$\hat{X}^{(0)} = (\hat{x}^{(0)}(1), \hat{x}^{(0)}(2), \dots, \hat{x}^{(0)}(n)),$$

残差序列

$$\varepsilon^{(0)} = (\varepsilon(1), \varepsilon(2), \dots, \varepsilon(n)) = (x^{(0)}(1) - \hat{x}^{(0)}(1), x^{(0)}(2) - \hat{x}^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n) - \hat{x}^{(0)}(n))$$

相对误差序列

$$\Delta = \left( \left| \frac{\varepsilon(1)}{x^{(0)}(1)} \right|, \left| \frac{\varepsilon(2)}{x^{(0)}(2)} \right|, \dots, \left| \frac{\varepsilon(n)}{x^{(0)}(n)} \right| \right) = \{\Delta_k\}_1^n \quad (20)$$

对于  $k < n$ ，称  $\Delta_k = \left| \frac{\varepsilon_k}{x^{(0)}(k)} \right|$  为 K 点模拟相对误差。

称

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i \quad (21)$$

为平均相对误差。

## 2 算例

某鱼雷 1993 年 1 月购置，基地级维修时间记录如表 1、表 2。

表 1 基地级维修时间

序号	1	2	3	4	5
基地级维修时间	1996 年 10 月	1999 年 9 月	2002 年 9 月	2004 年 6 月	2005 年 7 月

表 2 基地级维修间隔时间序列 单位：月

序号	1	2	3	4	5
基地级维修间隔时间序列	45	35	36	21	13

对原始序列进行准光滑性检验：

$$(2)=0.777\ 8, \quad (3)=0.450\ 0, \quad (4)=0.181\ 0, \quad (5)=0.094\ 9$$

$k > 3$  时， $\rho(k) < 0.5$ ，且  $\frac{\rho(k+1)}{\rho(k)} < 1$ ，准光滑条件满足。

检验  $X^{(1)}$  是否具有准指数规律：

$$\sigma(3) = 1.4500, \quad \sigma(4) = 1.1810, \quad \sigma(5) = 1.0949,$$

$$k \geq 3 \text{ 时}, \sigma^{(1)}(k) \in [1.4\ 500, \quad 1.0\ 949], \delta = 0.3551 < 0.5,$$

准指数规律满足，故可对  $X^{(1)}$  建立 AGM(1,1, ) 模型。

邀请鱼雷专家对于鱼雷 AGM(1,1,  $\omega$ ) 模型的 3 种差分形式的重要性两两进行比较，得成对比较评价矩阵(采用常用的 1~9 尺度)

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/6 & 1/3 \\ 6 & 1 & 2 \\ 3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \quad \lambda_{\max} = 3, \quad W = [0.1, \quad 0.6 \quad 0.3]^T.$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{0}{2} = 0, \text{ 完全符合一致性。}$$

(上接第 11 页)

从试验数据中可以看出，在召回率接近 0 的时候，CMIR 和 CCLIR 正确率在 81% 左右，分别为 80.7% 和 81.6%，而 JMIM 和 DCFI 正确率为 72.0% 和 64.2%。当召回率接近 1 的时候，CMIR 和 CCLIR 正确率在 11% 左右，分别为 10.3% 和 11.2%，而 JMIM 和 DCFI 正确率仅在 3% 上下，平均准确率方面，CCLIR 为 43.56%，DCFI 为 30.44%，CCLIR 比 DCFI 高出了 13 个百分点，平均召回率方面，CCLIR 为 44.07%，DCFI 为 29.09%，CCLIR 比 DCFI 高出了将近 15 个百分点。可见，在召回率和准确率方面，相同条件下采用本算法的 CCLIR 模型表现出了相当好的性能。从对比图中也可以看出，这几个模型性能由高到低的排列顺序为：CMIR>CCLIR>JMIM>DCFI。

## 5 结论

本文在现有的 CLIR 研究所取得的成果的基础上，设计和实现了一个跨语种检索模型，该模型从语言概念空间入手

根据式(16)计算可得

$$\hat{a} = [a, b]^T = [0.258\ 8, \quad 51.285\ 6]$$

得估计模型  $\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b$  的时间响应式为

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = (x^{(1)}(0) - \frac{b}{a})e^{-ak} + \frac{b}{a} = (-153.141\ 9)e^{-0.258\ 8k} - 198.141\ 9$$

据式(21)可得平均相对误差为 0.099 6，精度属于三级<sup>[6]</sup>。

从基地级维修间隔时间序列图形可以看出，序号为 3 的点是异常点。若直接建立 GM(1,1) 模型，相对误差为 0.118 3，模糊灰色 AGM(1,1, ) 模型的精度稍有提高。

利用所建立的模型，可以预测出该鱼雷以后几次的基地级维修时间间隔分别为 12.4, 9.6, 7.4，即以后各次的基地级维修时间分别为 2006 年 7 月、2007 年 5 月和 2008 年 1 月。

## 3 结论

根据模糊理论的思想，提出了灰色 GM(1,1) 模型的拓广形式 AGM(1,1, ) 模型，并用层次分析法确定最优加权因子，建立了鱼雷基地级维修时间模糊灰色预测模型。这种方法适用于样本中含有异常点的情况。

## 参考文献

- Greene L. E. Life Cycle Cost (lcc) Milestones [C]. Proceedings of the IEEE Aerospace and Electronics Conference, 1991: 1197-1200.
- Zhang Yuea, Wang Guangyuanb, Su Fen. The General Theory for Response Analysis of Fuzzy Stochastic Dynamic Systems [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1996, 83 (3): 369-405.
- 陈举华, 史延彬. GM 预测模型的模糊灰色优化方法[J]. 农业机械学报, 2003, 34(3): 120-131.
- 邓聚龙. 灰色预测与决策[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1986
- 张恒喜. 现代飞机效费分析[M]. 北京: 航空工业出版社, 2001.
- 刘思峰, 郭天榜. 灰色系统理论及其应用[M]. 开封: 河南大学出版社, 1991.

进行语义匹配处理，采用形式化表示的语境单元框架作为处理的核心。实验表明，这种方法是高效可行的。今后的工作将集中在将概念知识和规则的学习机制引入知识库的构造过程的研究上。

## 参考文献

- Nie J Y. Towards A Unified Approach to CLIR and Multilingual IR[C]. Proceedings of A Workshop at SIGIR, Tampere, Finland, 2002-08-15.
- Mayfield J, McNamee P. Three Principles to Guide CLIR Research[C]. Proceedings of A Workshop at SIGIR, Tampere, Finland, 2002-08-15.
- Chen A, Gey F. Multilingual Iinformation Retrieval Using Machine Translation, Relevance Reedback and Decompounding[J]. Information Retrieval, 2004, 7(1/2): 147-180.
- 黄曾阳. HNC(概念层次网络)理论[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.
- 黄曾阳. 语言概念空间的基本定理和数学物理表示式[M]. 北京: 海洋出版社, 2004.