

基于 ARMA 模型的船舶海水冷却系统参数预测

孙晓磊¹, 丁亚委¹, 郭克余², 邹永久¹, 孙培廷¹

(1. 大连海事大学 轮机工程学院, 辽宁 大连 116026

2. 中交机电工程局有限公司, 北京 100088)

摘要: 船舶海水冷却系统与船外海水直接接触, 工作环境较为恶劣, 而基于小波理论、灰色理论等参数预测方法受环境影响较大, 为了实现船舶海水冷却系统状态参数的准确预测, 提出了根据平稳时间序列建立自回归移动平均模型 (ARMA) 的方法; 介绍了 ARMA 模型原理及建模过程; 选取“育鲲轮”海水冷却系统 6 天的状态参数作为训练样本, 输入到 ARMA 预测模型中进行训练; 在 MATLAB 环境下, 获得预测数据; 运用平均绝对百分比误差对预测模型的准确性进行验证并对误差进行分析, 结果表明所建立的船舶海水冷却系统状态参数预测模型具有良好的预测能力, 能有效地反应未来一段时间海水冷却系统的工作状态的变化, 提示系统是否存在异常, 为早期故障诊断提供有效手段, 进而为船舶的稳定运营提供了条件。

关键词: 自回归移动平均模型; 参数预测; 冷却水系统; 平均百分比误差

Ship Seawater Cooling System Parameter Prediction Based on ARMA Model

Sun Xiaolei¹, Ding Yawei¹, Guo Keyu², Zou Yongjiu¹, Sun Peiting¹

(1. Marine Engineering College of Dalian Maritime University, Liaoning Dalian 116026, China

2. CCCC Mechanical & Electrical Engineering Co., Ltd., Beijing 100088, China)

Abstract: The ship seawater cooling system contacts with seawater, so the working environments and conditions are bad, and some parameter prediction methods are greatly influenced by the environment such as wavelet theory, gray theory and so on. In order to realize the state parameters prediction of ship seawater cooling system correctly, ARMA prediction model method of stationary time series is proposed. Then the principle and modeling process of ARMA model is introduced, selecting 6 days' state parameters of MV "YUKUN" ship seawater cooling system as training sample, and inputting the training sample into the ARMA model, getting the prediction data by MATLAB. Then using the MAPE to verify the prediction model and analyzing the error, the result shows the model has good prediction ability. And the model can effectively response the changes of seawater cooling system's working state in the period ahead and suggest whether the system is abnormal, and provide effective ways for the early fault diagnosis. Furthermore, the model provides advantages for the stable operation of the ships.

Keywords: ARMA model; state parameters prediction; seawater cooling system; MAPE

0 引言

现如今船舶工业发展迅速, 无人船舶、智能机舱是未来船舶发展的方向。而船舶实现智能化^[1]的前提是如何能够正确地船舶系统及设备的状态参数进行预测与判断。船舶冷却水系统正常运行是确保船舶柴油机正常运转的关键。如果发生船舶冷却水系统故障或者其中某个设备故障的情况, 导致船舶柴油机产生的三分之一左右的热量不能及时地由燃烧室部件散发出去, 那么将会对热量直接接触的部件造成极大的损坏, 从而妨碍船舶的正常营运。目前, 绝大部分船舶所采用冷却水系统形式均为中央冷却水系统, 在这之中船舶海水冷却系统在船舶冷却水系统中的作用极其重要。首先, 船舶系统中所有的热交换都靠船舶海水冷却系统完成, 因此, 海水冷却系统的可靠性, 保证了船舶热量及时的散发和主机运行的可靠性; 其次, 船舶海水冷却系统直接连通舷外海水, 若发生故障可能会导致舷外海水直接进入机舱, 对于船舶的安全造成隐患。因此, 对船舶海水系统实现状态参数预测及状态趋势判断具有重要意义。目前国内在船舶海水冷却系统

状态参数预测及相关方面的研究较少, 在电力系统、汽车等领域中研究较多。孙娜等^[2]以船舶冷却水系统传感器故障检测问题为目标, 提出了基于小波神经网络预测器的传感器故障诊断新方法, 结合同伦算法优化网络, 解决小波神经网络对初始值敏感容易引起错误的问题; 马超等^[3]针对发动机特征参数预测中的参数选择及预测模型建立的问题, 提出一种基于粒子群优化核极限学习机 (PSO - KELM) 的发动机特征参数预测方法, 车辆在怠速和行驶工况下的特征参数预测结果表明, PSO - KELM 具有更高的预测精度; 张曦等^[4]为了解决机组运行过程中参数失效和优化过程中参数计算的问题, 提出了基于核回归 (KPCR) 的发电机组参数预测和估计方法。用正常数据建立机组参数的预测和估计模型, 确定各变量之间的回归关系, 将其用于参数的在线预测与估计, 某电厂 1000 MW 发电机组烟气含氧量历史特征数据集仿真试验证明了该方法的有效性。由于多数状态参数预测模型受外界环境影响较大, 对预测参数的准确性有一定影响, ARMA 模型将外界环境因素对系统的影响综合了起来, 将这些因素统一为时间因素来进行处理, 不需细致分析外部环境因素对系统的影响, 因此该模型具有所需历史数据样本较少, 计算相对简单, 节约计算时间以及减少工作量的优点。介于以上优点, 本文对基于 ARMA 时间序列的船舶海水冷却系统状态参

收稿日期:2017-04-02; 修回日期:2017-04-24。

作者简介:孙晓磊(1994-), 男, 山东烟台人, 硕士研究生。主要从事船舶远程监控与故障诊断方向的研究。

数预测进行研究分析,证明其可行性。

1 ARMA 模型原理及建模过程

1.1 ARMA 模型原理

自回归移动平均模型 (ARMA: Auto-Regressive and Moving Model) 由自回归模型 (AR: Auto-Regressive) 和移动平均模型 (MA: Moving-Average) 混合构成^[5]。其基本原理为:由于完整时间序列变化发展具有一定的规律性,按照其规律性,通过序列中的原始数据来预测未来序列的单值。

ARMA 模型的基本模型。

1) 自回归模型 AR (p):

若时间序列 Y_t 满足下式子:

$$Y_t = \sum_{i=1}^p \varphi_i Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (1)$$

称时间序列 Y_t 为服从 p 阶的自回归模型。式中: $\varphi_i (i \in [1, p])$ 为自回归系数,为确定模型需要对其求解; ε_t 是 t 时刻的随机扰动,为独立同分布的随机变量序列,服从 $N(0, \sigma^2)$ 。

由公式 (1) 可知,自回归模型中 Y_t 的值是关于 $Y_{t-i} (i \in [1, p])$ 和 ε_t 的线性函数,它和之前的响应及随机扰动并无关联。

2) 移动平均模型 MA (q):

若时间序列 Y_t 满足下式子:

$$Y_t = \varepsilon_t - \sum_{i=1}^q \theta_i \varepsilon_{t-i} \quad (2)$$

称时间序列 Y_t 为服从 q 阶的移动平均模型。式中: $\theta_i (i \in [1, q])$ 为移动平均系数,为确定模型需要对其求解; $\varepsilon_{t-i} (i \in [0, q])$ 为 $t-i$ 时刻的随机扰动,服从 $N(0, \sigma^2)$ 。

由公式 (2) 可知,移动平均模型中 Y_t 的值是关于 ε_t 和 ε_{t-i} 线性函数。该模型在 t 时刻的响应值与其之前时刻的响应值 $Y_{t-i} (i \in [1, q])$ 无关。

3) 自回归移动平均模型 ARMA (p, q)^[6]:

若时间序列 Y_t 满足下式:

$$Y_t = \sum_{i=1}^p \varphi_i Y_{t-i} + \sum_{k=0}^q \theta_k \varepsilon_{t-k} \quad (3)$$

称时间序列 Y_t 为服从 (p, q) 阶自回归移动平均模型。由公式 (3) 可知,ARMA (p, q) 这一模型中 Y_t 的值是关于 $Y_{t-i} (i \in [1, q])$ 和 $\varepsilon_{t-i} (i \in [0, q])$ 的线性函数。

1.2 ARMA 模型的建立流程

ARMA 模型是根据平稳时间序列建立的,在模型建立之前需要检验时间序列的平稳性。假如时间序列式非平稳的,则需要进行相关平稳化处理,直到满足平稳性要求,之后建立 ARMA 模型。ARMA 模型的建模分为以下四步。

1) 时间序列平稳化:

首先对时间序列的平稳性进行判断。如果是时间序列是平稳的,那么数值会稳定在一定的范围内随机波动,无明显的规律性。如果时间序列是非平稳的,则经过不定次数的差分对非平稳时间序列进行处理,使其实现平稳化^[5]。

2) 模型的识别和定阶:

建立 ARMA 模型时,自相关函数和偏自相关函数的收敛速度决定 p, q 值,AR (p) 模型的自相关函数具有拖尾性,而偏自相关函数具有 p 步截尾性;MA (p) 模型的自相关函

数具有 q 步截尾性,而偏自相关函数具有拖尾性;ARMA (p, q) 模型的自相关函数和偏自相关函数都具有拖尾性。自相关函数 γ_k 和偏自相关函数 φ_{kk} 计算如 (4) (5) 所示:

$$\gamma_k = \frac{\text{cov}(Y_t, Y_{t-k})}{\sqrt{DY_t, DY_{t-k}}} \quad (4)$$

$$\varphi_{kk} = \begin{cases} \gamma_1 & k = 1 \\ \gamma_k - \frac{\sum_{j=1}^{k-1} \varphi_{k-1,j} \cdot \gamma_{k-j}}{1 - \sum_{j=1}^{k-1} \varphi_{k-1,j} \cdot \gamma_j} & k = 2, 3, \dots \end{cases} \quad (5)$$

公式 (4) 中的 γ_k 是以 k 为变量的自相关序列,自相关函数拖尾性是指模型的自相关函数按照负指数减少,而 q 步截尾性则是自相关函数在 $k > q$ 后收敛较快直至为 0。

公式 (5) 中的 φ_{kk} 是 $Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-k+1}, Y_{t-k}$ 对 Y_t 做线性最小二乘估计得到的关于 Y_{t-k} 的系数,偏自相关函数的 p 步截尾性是指偏自函数在 $k > p$ 后收敛较快直至为 0。

之后根据模型选取不同的 p, q 值及参数,采用 AIC 方法给模型定阶^[7],定阶准则如公式 (6) 所示:

$$AIC = \ln \hat{\sigma}_a^2 + \frac{2(p+q)}{N} \quad (6)$$

当 AIC 值最小即残差方差 $\hat{\sigma}_a^2$ 最小时,得到的 p, q 值为最佳选择,该模型被认为是最佳模型^[8]。

3) 模型参数估计:

选取适当的时间序列模型参数估计方法,最小二乘估计法在对线性模型的估计中具有良好的统计性且计算量少等优势,因此被应用的最为广泛^[9]。另外,实际模型参数的确定,则可通过 MATLAB 中 ARMA 时间分析序列的函数 armax (data, orders) 估计参数来实现。

4) 模型检验:

最后,对估计得到的模型进行检验,当模型的某些参数显著为 0 时要对模型进行优化处理,必要时要重新建模,使模型达到最优。

2 海水冷却系统状态参数预测

2.1 海水冷却系统状态参数预测方案

首先,选取“育鲲轮”正常工况下海水冷却系统的水泵进口压力、海水泵出口压力、中央冷却器海水进口压力、中央冷却器海水出口温度和中央冷却器淡水出口温度五种状态参数作为训练样本并进行预处理;之后,建立 ARMA 参数预测模型,将训练样本输入到模型中进行训练,在 MATLAB 环境下获得上述五种状态参数的预测值;最后,将预测值与实际值进行对比,运用平均百分比误差法对预测模型进行验证,并对误差进行分析。预测方案框架图如图 1 所示。

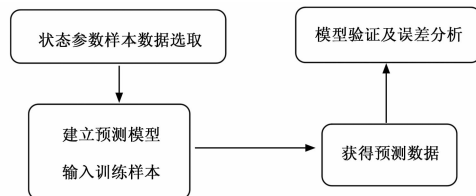


图 1 海水冷却系统状态参数预测方案框架图

2.2 状态参数样本数据选取

船舶在航行过程中,船舶冷却水系统的状态一般均处于

平稳工况^[10]。本文所采集的海水冷却系统状态参数均为非故障数据,即正常工况(表 1)下采集的参数。每两小时对系统中的海水泵进口压力、海水泵出口压力、中央冷却器海水进口温度、中央冷却器海水出口温度、中央冷却器淡水出口温度进行采集,记录为一组数据。在预测模型初始构建过程中,模型参数进行多次调整,60 组历史数据和 12 组验证数据已满足模型预测精度要求,所以以前五天共 60 组海水冷却系统状态参数的历史数据作为样本,对第六天共 12 组数据变化的趋势进行预测分析,并对第六天的实际值进行监控、实时记录。六天简要的实际历史数据如表 2 所示。

表 1 海水冷却系统参数正常值

序号	参数类型	参数标识	额定参数值	正常范围	单位
1	海水泵进口压力	P1	0.1	0.1~0.4	bar
2	海水泵出口压力	P2	2.5	2.0~2.5	bar
3	中央冷却器海水进口温度	T1	26	20~32	℃
4	中央冷却器海水出口温度	T2	35	30~42	℃
5	中央冷却器淡水出口温度	T3	31	30~34	℃

表 2 正常工况下的海水冷却系统状态参数历史数据

序号	海水泵进口 压力 P1/bar	海水泵出口 压力 P2/bar	中央冷却器 海水进口 温度 T1/℃	中央冷却器 海水出口 温度 T2/℃	中央冷却器 淡水出口 温度 T3/℃
1	0.23	2.4	26	34	31
2	0.25	2.5	24	33	32
.....
70	0.16	2.0	27	36	31
71	0.17	2.1	25	35	31
72	0.15	2.0	25	33	30

其中前五天共 60 组历史数据样本作系统训练,第六天共 12 组实际历史数据用作测试验证。用 MATLAB 绘制的水水泵进口压力(P1)、海水泵出口压力(P2)历史曲线图如图 2 所示。绘制的中央冷却器海水进口温度(T1)、海水出口温度(T2)及低温淡水出口温度(T3)历史数据曲线图如图 3 所示。

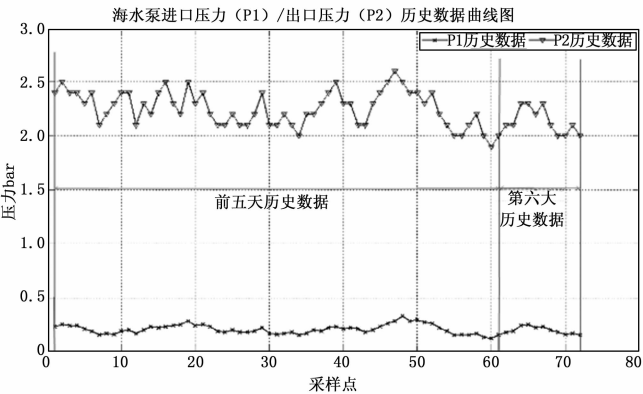


图 2 海水泵进口压力(P1)/出口压力(P2)历史数据曲线图

由于本文所构造的 ARMA 模型只是为了使其达到数据预测数据的能力,因此对模型的验证只要求拥有历史数据即可,外界环境的因素暂时不在考虑范围之内。

2.3 船舶冷却水状态模型确定

对冷却水系统的状态参数的趋势进行预测的目的是能展

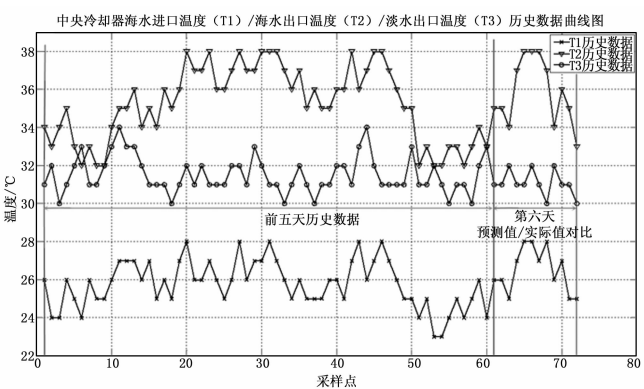


图 3 T1、T2、T3 历史数据曲线图

望到之后一段时间内系统及各个设备的运行情况。先对一个数据窗口的长度进行规定,运用时间滚动技术使得窗口达到不断的向前移动,完成新数据与老数据的更换,数据更新原理如图 4 所示。

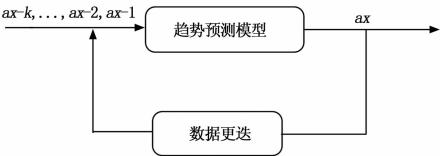


图 4 趋势预测中数据更新原理

将原始数据去趋势化完成后,研究分析海水冷却系统五个状态参数的自相关函数和偏自相关函数,可以得出,五个状态参数去趋势化后的偏自相关函数和自相关函数都表现为拖尾型,所以确定预测模型为 ARMA(p, q)模型。

之后根据模型选取不同的 p, q 值及参数,采用 AIC 方法给模型定阶,最佳阶数要选择使 AIC 值最小的 p 和 q ,具体公式如公式(6)所示。经过在 MATLAB 软件仿真后,发现当 p, q 取值为 $[3, 3]$ 时, AIC 值最小,所以最终的预测模型确定为 ARMA(3, 3)。在模型阶次确定以后,利用 MATLAB 中 armax 函数估计模型参数。利用前五天共 60 组历史数据作为训练数据,第六天共 12 组历史数据作为验证数据。在 MATLAB 中编程,首先调用 armax(data, $[p, q]$) 函数,正确设置预测模型相关参数,获取趋势预测模型,之后利用 predict(sys, data, K) 函数预测未来趋势。图 5 给出了海水冷却系统状态参数预测模型在输入前五天共 60 组海水泵进口压力历史数据进行训练之后,预测出的第六天 12 组压力预测值,并将之与第六天实际历史数据进行对比。

同理将海水泵出口压力 P2,中央冷却器海水进口温度 T1、中央冷却器海水出口温度 T2,中央冷却器淡水出口温度 T3 的前五天历史数据输入至海水冷却系统状态参数预测模型里,重新正确设置预测模型参数后,分别得到预测参数。图 6 为海水泵出口压力(P2)预测数据对比图,图 7 为 T1、T2、T3 预测数据对比图。

从图 5、图 6 和图 7 中我们可以看出,将前五天采集的 60 组船舶海水冷却系统状态参数历史数据输入至状态参数预测模型中,所输出的预测数据作图并与实际历史数据进行对比,我们不难发现预测数据的整体趋势与实际历史数据还是较为吻合的,是围绕状态参数实际历史数据上下波动的,具体预测误差将在下一节中进行具体分析。

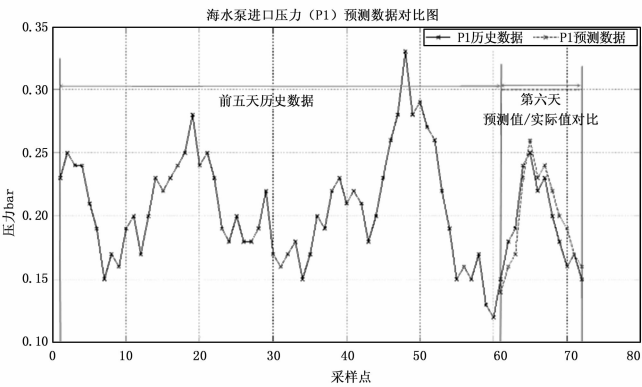


图 5 海水泵进口压力 (P1) 预测数据对比图

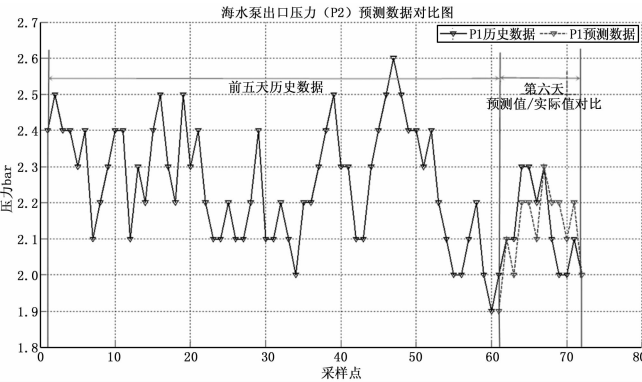


图 6 海水泵出口压力 (P2) 预测数据对比图

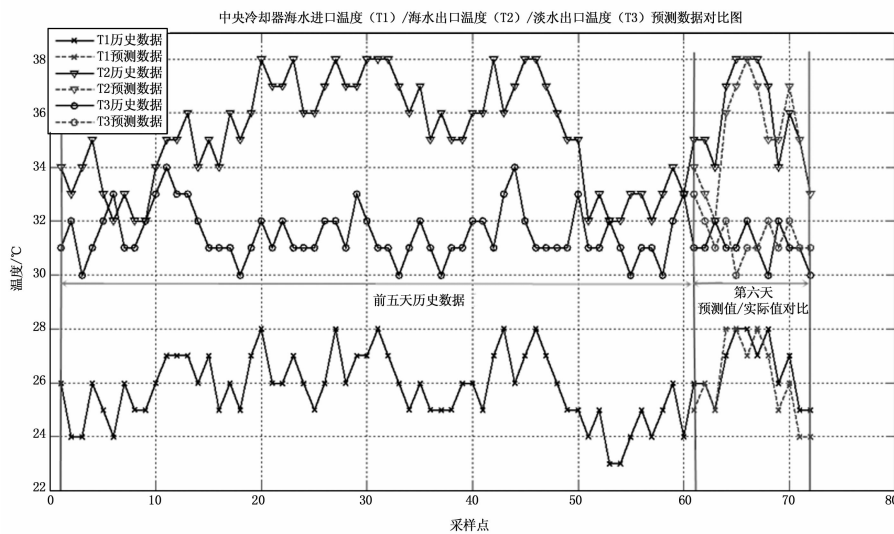


图 7 T1、T2、T3 预测数据对比图

2.4 预测模型验证及分析

预测结果存在不同程度的不确定性, 这种不确定性就不能准确预测船舶海水冷却系统的性能参数值, 只能从统计意义上做出最优的选择。因此, 在趋势预测之后, 需对预测的数值的准确性进行评估, 若评估效果不理想, 则要对模型进行优化处理。本文采用的评价指标为: 平均绝对百分比误差^[11] (Mean Absolute Percentage Error, MAPE)。

平均绝对百分比误差:

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{x_{fi} - x_{ai}}{x_{ai}} \right| \times 100\% \quad (7)$$

式中, N 代表预测的个数, x_f 为预测值, x_a 为实际值。

将正常工况 1 下的海水冷却系统状态参数预测数据与实际历史数据代入式 (7) 中进行计算, 所得平均绝对百分比误差 (MAPE) 如表 3 所示。

表 3 海水冷却系统预测参数平均绝对百分比误差—正常工况 1(%)

预测步数	MAPE (P1)	MAPE (P2)	MAPE (T1)	MAPE (T2)	MAPE (T3)
1	6.67	5.00	3.85	2.86	6.45
2	8.89	2.50	1.93	4.29	4.84
3	9.44	3.25	1.28	4.82	4.27
4	8.12	3.53	1.89	4.29	4.01
5	7.30	3.69	1.51	3.96	3.85
6	6.84	3.83	1.85	3.29	3.73
7	6.48	3.29	2.12	3.20	3.20
8	6.92	3.47	2.30	3.48	3.63
9	7.39	4.20	2.47	3.42	3.58
10	8.53	4.28	2.59	3.35	3.54
11	7.75	4.32	2.72	3.05	3.22
12	12.66	3.96	2.83	2.80	3.23

从表格中我们可以发现海水冷却系统预测参数平均绝对百分比误差 MAPE 基本大部分在 10% 以下, 仅只有海水泵进口压力 P1 最后一步预测值偏离实际值较多, 从而造成预测步数为 12 时, P1 平均绝对百分比误差 (MAPE) 超过 10%。

分析原因可能是由于在中央冷却系统中海水泵进口直接与舷外相连, 受外部环境干扰较大, 以至于预测数据偏差大, 而 P2、T1、T2、T3 的平均绝对百分比误差 (MAPE) 大部分处于 5% 以下。而且中央冷却器淡水出口温度 T3 的预测数据的平均绝对百分比误差 (MAPE) 随着预测步数的增加有逐渐减小的收敛趋势。所以综合海水冷却系统五个状态参数的预测趋势, 可以认为本文建立的海水冷却系统状态参数预测模型具有良好的预测功能。

3 结论

本文选取“育鲲轮”海水冷却系统作为研究对象, 根据其正常运行期间的五种状态参数的历史数据建立 ARMA 预测模型获得预测数据, 用平均绝对百分比误差法对所建立的船舶冷却水系统状态参数预测模型进行验证, 结果表明本文所建立的船舶冷却水系统状态参数预测模型具有良好的预测功能, 其预测出的数据能有效的反应未来一段时间内五种状态参数的变化趋势, 进而有效的反应出未来一段时间海水冷却系统的工作状态的变化, 提示系统是否存在异常, 为早期故障诊断提供有效手段, 并为系统中相关设备的工作剩余寿命的预测提供重要依据^[12], 为船舶的稳定运营提供了条件。

参考文献:

[1] 史红卫, 史慧, 孙洁, 等. 服务于智能制造的智能检测技术探索与应用 [J]. 计算机测量与控制, 2017, (01): 1-48.

[2] 孙娜, 陶文华, 李青苗, 等. 基于小波神经网络的船舶冷却水系统的传感器故障诊断 [J]. 测控技术, 2007, 3 (2): 179-180. PH.

[3] 马超, 张英堂, 李志宁. 基于 PSO-KELM 的发动机特征参数预测 [J]. 控制工程, 2014, (S1): 28-32.

[4] 张曦, 陈世和, 朱亚清, 等. 基于 KPCR 的发电机组参数预测与估计 [J]. 电力自动化设备, 2010, (10): 54-57.

[5] 史书真. 股价时间序列的分析与预测研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2013.

[6] Chalermarwong T, See S, Achalakul T, editors. Parameter Prediction in Fault Management Framework [C]. Proceedings of The International Symposium on Grids and Clouds (ICGC 2012) - 26 February - 2 March; 2012; Taiwan.

[7] 韩路跃, 杜行检. 基于 MATLAB 的时间序列建模与预测 [J]. 计算机仿真, 2005 (4): 105-107.

[8] Nadja Saleck and Lueder von Bremen. Wind power forecast error smoothing within a wind farm [Z]. The Science of Making Torque from Wind, Conference Series 75 (2007) 012051.

[9] 张俊潇, 邓长虹, 陈允平. 最小二乘估计法优化电力系统网络等值参数 [J]. 电力科学与工程, 2004 (2): 34-37.

[10] 许正福. 轮机动力装置系统实验室冷却水系统设计研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2009.

[11] Tayman J, Swanson D A. On the validity of MAPE as a measure of population forecast accuracy [J]. Population Research and Policy Review, 1999, 18 (4): 299-322.

[12] 徐野男. 基于时间序列的船舶冷却水系统状态参数预测分析 [D]. 大连: 大连海事大学, 2015.

率, 有效增加了本文所提方法的可行性和优化性。

仿真实验证明, 本文所提基于文本论的异构式分布下的 internet 数据挖掘优化方法可以精确地对异构式分布下的 internet 数据进行挖掘, 保障了 internet 数据挖掘的整体有效性, 提高了数据挖掘的速度, 为该领域的研究发展提供了可靠依据。

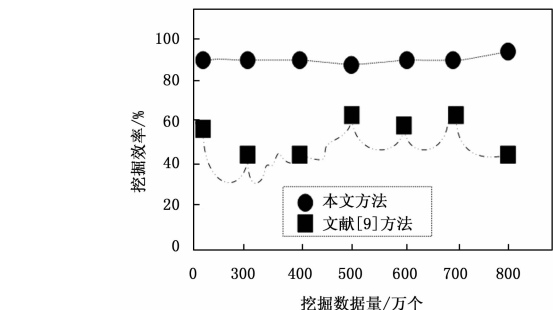


图 1 不同方法下挖掘效率对比

时, 对异构式分布下的 internet 数据挖掘时, 利用最大间隔算法对 internet 数据进行特征提取、依据 internet 数据的特征选择决策系统对 internet 数据进行特征选择, 以及采用信息熵对 internet 数据进行过滤的异构式分布下的 internet 数据挖掘预处理工作。为异构式分布下的 internet 数据挖掘打下了坚实基础, 有利于对异构式分布下的 internet 数据进行高效率挖掘。图 2 是文献 [8] 所提挖掘方法与本文所提方法误差率 (%) 的对比。

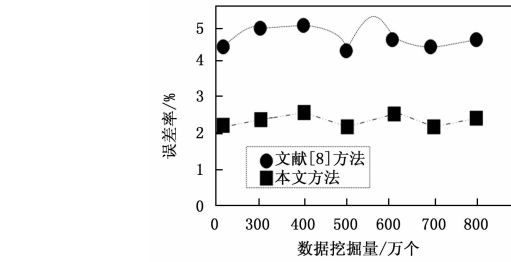


图 2 数据挖掘误差率

图 2 中本文所提基于文本论的异构式分布下的 internet 数据挖掘优化方法挖掘的误差率明显低于文献 [8] 所提挖掘方法, 本文所提方法数据挖掘误差率在额定的数据挖掘数量持续增加中波动状态相对稳定, 且一直在 5% 以下。主要是因为 internet 数据决策树的生成在数据挖掘过程中起着不可或缺的辅助作用, 提高了异构式分布下的 internet 数据挖掘的准确

3 结束语

采用当前方法对异构式分布下的 internet 进行数据挖掘时, 无法高精度、高效率地实现异构式分布下的 internet 数据挖掘, 存在挖掘误差率高、速度慢、不安全的问题。提出一种基于文本论的异构式分布下的 internet 数据挖掘优化方法。通过仿真实验证明, 所提方法可以精准地对异构式分布下的 internet 数据进行挖掘, 具有良好的应用价值, 是切实可行的。

参考文献:

[1] 吕佳, 陈东生. 基于聚类算法的服装感性数据挖掘方法 [J]. 纺织学报, 2014, 35 (5): 108-112.

[2] 王磊, 张永坚, 贾继鹏, 等. 基于 Hadoop 的公共建筑能耗数据挖掘方法 [J]. 计算机系统应用, 2016, 25 (3): 34-42.

[3] 刘青凤, 李红兰. 基于数据挖掘方法的风力涡轮机状态监测技术研究 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (5): 1336-1339.

[4] 柳萌萌, 赵书良, 韩玉辉, 等. 多尺度数据挖掘方法 [J]. 软件学报, 2016, 27 (12): 3030-3050.

[5] 丁骋骋, 邱瑾. 性别与信用: 非法集资主角的微观个体特征——基于网络数据挖掘的分析 [J]. 财贸经济, 2016, 37 (3): 78-94.

[6] 杨丹丹. 搜索引擎及网络数据挖掘相关技术研究 [J]. 数字化用户, 2014, 20 (11): 126-126.

[7] 方永美, 熊俊涛, 杨振刚, 等. 基于贝叶斯网络数据挖掘的蔬菜质量安全分析 [J]. 湖北农业科学, 2016, 55 (23): 6253-6257.

[8] 肖志军. 一种面向社会网络的热点话题数据挖掘算法 [J]. 计算机应用与软件, 2014, 31 (6): 24-28.

[9] 许学添, 邹同浩. 网络数据库中隐蔽数据快速挖掘方法研究 [J]. 电子设计工程, 2016, 24 (24): 15-18.

[10] 余国清, 周兰蓉. 一种公共网络攻击数据挖掘智能算法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (10): 190-193.