智能头盔抗电磁干扰性能的非线性建模研究

张旭东，周年荣，唐立军

（云南电网有限责任公司电力科学研究院，云南 昆明 650217）

摘要：为了提高智能头盔抗电磁干扰性能预测准确度，提出一种智能头盔抗电磁干扰性能的非线性建模方法。首先分析智能头盔抗电磁干扰性能建模的现状，指出各种方法存在的弊端；然后采集智能头盔抗电磁干扰数据，引入数据挖掘技术对智能头盔抗电磁干扰数据进行建模与挖掘，并建立智能头盔抗电磁干扰非线性预测模型；最后通过智能头盔抗电磁干扰预测仿真实验验证其性能。测试结果表明，所提方法可以准确描述智能头盔抗电磁干扰变化趋势，其抗电磁干扰预测准确度超过95%，预测误差远远小于其他方法，从而获得更加理想的智能头盔抗电磁干扰建模结果。

关键词：智能头盔；抗电磁干扰；数据挖掘；仿真测试

Research on nonlinear modeling of anti EMI performance of intelligent helmets

ZHANG Xudong, ZHOU Nianrong, TANG Lijun

(Electric Power Research Institute of Yunnan Power Grid Corporation, Kunming 650217, China)

Abstract: In order to improve the prediction accuracy of anti EMI performance of intelligent helmets, a nonlinear modeling method of anti EMI performance of intelligent helmets is proposed. Firstly, the current situation of anti-electromagnetic interference performance modeling of intelligent helmet is analyzed, the disadvantages of various methodsare pointed out, then the anti-electromagnetic interference data of intelligent helmet are collected, data mining technology is introduced to model and mine the anti-electromagnetic interference data of intelligent helmet, the non-linear prediction model of anti-electromagnetic interference of intelligent helmet, is established. Finally through the simulation experiment , the performance of anti-electromagnetic interference prediction of intelligent helmet is verified. The test results show that this method can accurately describe the change trend of anti-electromagnetic interference of intelligent helmets. is verified. The prediction accuracy of anti-electromagnetic interference of intelligent helmets is more than 95%. The prediction error of anti-electromagnetic interference of intelligent helmets is far less than that of other methods, and more ideal modeling results of anti-electromagnetic interference of intelligent helmets are obtained.

Key words: intelligent helmet; anti electromagnetic interference; data mining; simulation test

0 引言

随着电子技术、通信技术和传感器技术的不断融合和发展，出现了智能头盔，它在许多领域得到了成功的应用，如煤矿井下信息采集，可以对瓦斯浓度进行采集和实时分析，如果瓦斯浓度超过临界值就会报警[1-3]。然而在智能头盔的实际应用中，外界电磁会对其进行干扰，影响其对信息的采集和正常工作，智能头盔抗电磁干扰性能是一项评价其质量的重要标准。对智能头盔抗电磁干扰性能进行建模和估计具有十分重要的实际应用价值[4-6]。

针对智能头盔抗电磁干扰性能建模问题，一些发达国家投入了大量人力和财力进行研究，而且研究的时间相当长，对智能头盔抗电

中国南方电网有限责任公司科技项目(YNKJXM20180393)

磁干扰性能建模的技术也相当成熟；而国内由于出现智能头盔的时间比较短，对智能头盔抗电磁干扰性能相关研究的文献比较少，还有许多难题有待攻克[7-9]。智能头盔抗电磁干扰性能的建模当前主要采用线性方法，如多元线性回性、时间序列分析法等，它们对智能头盔抗电磁干扰性能历史数据进行挖掘，描述智能头盔抗电磁干扰性能的变化特点，由于智能头盔抗电磁干扰性能具有强烈的非线性，没有考虑该变化特点，使得智能头盔抗电磁干扰性能建模效果差，无法获得令人相信的智能头盔抗电磁干扰性能建模结果[10-11]。

1 智能头盔抗电磁干扰性能的非线性建方法

1.1 智能头盔抗电磁干扰性能建模学习样本的构建方法

设采集的原始智能头盔抗电磁干扰性能数据为：$X=\{x_i,i=1,2,..,n\}$，由于它们根据时间先后的顺序进行采集和整理，因此可以看作是一个时间序列数据集合，n表示数据点的数量。智能头盔抗电磁干扰性能数据由于受其他因素的影响，使得其变化特点比较复杂，表面上看没有什么变化规律，但是进行深层次分析可以发现其存在一定的变化规律，即混沌变化特点。因此需要引入混沌分析算法对智能头盔抗电磁干扰性能数据进行重建，同时建立智能头盔抗电磁干扰性能建模的学习样本。通过混沌分析算法确定嵌入维(m)和时间延迟(τ)，得到一个与原始智能头盔抗电磁干扰性能数据变化特点相同的多维数据，即

$$\begin{aligned} &X=\{X_i \mid X_i=[x_i,x_{i+\tau},\cdots,x_{i+(m-1)\tau}]^{\mathrm{T}} \\ &i=1,2,\cdots,M \end{aligned} \tag{1}$$

m和τ值的设置十分重要，直接决定了智能头盔抗电磁干扰性能建模效果，本文选择关联积分方法确定m和τ，以重建智能头盔抗电磁干扰性能数据。关联积分计算式为

$$C(m,N,r,t)=\frac{2}{M(M-1)}\times\sum_{1\leqslant i<j\leqslant M}\theta(r-\|X_i-X_j\|_{(\infty)}) \tag{2}$$

其中，$\theta()$的计算式为

$$\theta(x)=\begin{cases}0 & x\leqslant 0\\ 1 & x>0\end{cases} \tag{3}$$

智能头盔抗电磁干扰性能数据序列的检验统计量计算式为

$$S(m,N,r,t)=C(m,N,r,t)-C^m(m,N,r,t) \tag{4}$$

将其进行细分产生多个子序列，则

$$\begin{cases}x(1)=\{x_1,x_{t+1},\cdots,x_{N/t-t+1}\}\\ x(2)=\{x_2,x_{t+2},\cdots,x_{N/t-t+2}\}\\ \vdots\\ x(t)=\{x_t,x_{t+t},\cdots,x_{N/t}\}\end{cases} \tag{5}$$

根据分块算法对式（5）的统计量进行计算得

$$S_1(m,N,r,t)=\frac{1}{t}\sum_{s=1}^{t}[C_s(m,N,r,t)-C_s^m(1,N,r,t)] \tag{6}$$

式中，r为两个智能头盔抗电磁干扰性能数据点之间距离。

当智能头盔抗电磁干扰性能数据序列相空间点数N无限大时，那么式（6）就可以简化为

$$S_1(m,r,t)=\frac{1}{t}\sum_{s=1}^{t}[C_s(m,r,t)-C_s^m(1,r,t)] \tag{7}$$

计算最大值和和最小值点的偏差，具体为

$$S_1(m,t)=\max\{S_1(m,r_j,t,N)\}-\min\{S_1(m,r_j,t,N)\} \tag{8}$$

当$\Delta S_1(m,t)$为极小值点时，就可以得到最优的τ。

基于BDS（Brock Dechert Scheinkman）得到

$$\overline{S_1}(t)=\frac{1}{16}\sum_{m=1}^{4}\sum_{m=1}^{4}S_1(m,r,t) \tag{9}$$

$$\overline{S_1}(t)=\frac{1}{4}\sum_{m=1}^{4}\Delta S_1(m,t) \tag{10}$$

$\Delta\overline{S}_1(t)+|\overline{S}_1(t)|$达到最小值时得到最佳嵌入窗$\tau_{\mathrm{w}}$，然后利用下式得到最优的$m$。

$$\tau_{\mathrm{w}}=(m-1)\tau \tag{11}$$

得到最优的m和τ值，根据m和τ值重建智能头盔抗电磁干扰性能数据，从而产生了智能头盔抗电磁干扰性能建模学习样本，然后引入BP神经网

络建立智能头盔抗电磁干扰性能分析模型。

1.2 BP神经网络建立智能头盔抗电磁干扰性能分析模型

（1） BP神经网络算法

BP神经网络是一种具有良好建模性能的数据挖掘技术，其模拟人大脑的神经网络工作机制，包括多层结构，最为经典的是3层，每一层包括了大量的神经元节点，同一个层的神经元节点没有直接关联，各相邻层之间的神经元节点互相关联。

（2）BP神经网络的工作步骤

1）$X=[x_0,x_1,\cdots,x_{N-1}]$、$H=[h_0,h_1,\cdots,h_{L-1}]$和$Y=[y_0,y_1,\cdots,y_{M-1}]$分别为BP神经网络的输入、隐含和输出层的数据；期望输出数据为$D=[d_0,d_1,\cdots,d_{M-1}]$；$N$、$L$和$M$分别为神经元节点数；$V_{ij}$和$W_{jk}$分别为隐含层的第$j$个神经元与输入、输出层的神经元权重；相应的阈值为$\theta_k$和$\phi_j$，隐含ϕ层的映射函数为

$$f(a)=\frac{1}{1+e^{-a}} \tag{12}$$

根据式（13）和式（14）可以得到隐含层和输出层的神经元输出，即

$$h_j=f(\beta_j)=f(\sum_{i=0}^{N-1}V_{ij}x_i-\phi_j) \tag{13}$$

$$y_k=f(a_k)=f(\sum_{i=0}^{L-1}W_{ij}h_i-\theta_k) \tag{14}$$

2）计算y_k和d_k之间的误差，那么得多个输出误差项为

$$\delta_k=(d_k-y_k)y_k(1-y_k) \tag{15}$$

$$\delta_k^*=h_j(1-h_j)\sum_{k=0}^{M-1}\delta_kW_{jk} \tag{16}$$

3）如果输出误差大于实际要求，那么采用式（17）和式（18）对各神经网络间的权重进行调节，即

$$\Delta W_{jk}(n)=\eta\delta_kh_j \tag{17}$$

$$\Delta V_{ij}(n)=\eta\delta_j^*x_i \tag{18}$$

式中，η为神经网络的学习速率。

4）计算调节后的各神经网络之间的权重值，具体如下

$$W_{jk}(n+1)=W_{jk}(n)+\Delta W_{jk}(n)+\mu\Delta W_{jk}(n-1) \tag{19}$$

$$V_{ij}(n+1)=V_{ij}(n)+\Delta V_{ij}(n)+\mu\Delta V_{ij}(n-1) \tag{20}$$

5）不断重复步骤，直到输出层的误差满足实际应用要求。

1.3 BP神经网络建立智能头盔抗电磁干扰性能分析步骤

1）采集一个智能头盔一段时间的抗电磁干扰性能数据。

2）引入混沌分析算法，确定智能头盔抗电磁干扰性能数据重建的最优m和τ。

3）基于最优m和τ的值，建立智能头盔抗电磁干扰性能数据，即智能头盔抗电磁干扰性能分析的学习样本。

4）根据智能头盔抗电磁干扰性能分析的学习样本设计BP神经网络的结构。

5）初始BP神经网络隐含层的神经元与输入、输出层的神经元权重值以及阈值。

6）采用智能头盔抗电磁干扰性能分析的学习样本训练BP神经网络。

7）根据训练好的BP神经网络建立智能头盔抗电磁干扰性能分析模型。

智能头盔抗电磁干扰性能的非线性建模流程如图1所示。

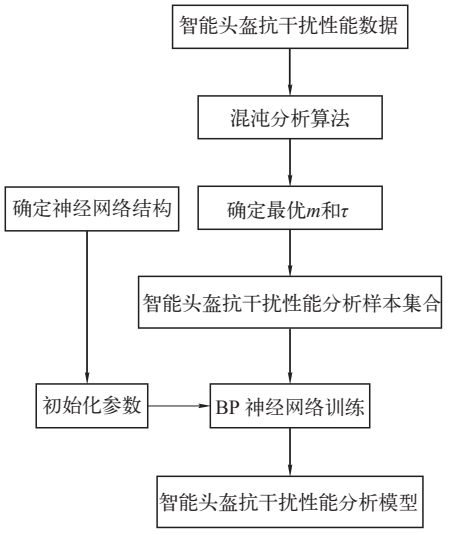


图1 智能头盔抗电磁干扰性能的非线性建模流程

Fig. 1 Non-linear modeling flow of anti-electromagnetic interference performance of intelligent helmet

2 智能头盔抗电磁干扰性能的非线性建模方法的仿真测试

2.1 测试数据

为了测试智能头盔抗电磁干扰性能的非线性建模方法的有效性，选择5个智能头盔的抗电磁干扰数据作为实验对象，针对每一个智能头盔，采集一段时间抗电磁干扰数据，其数据分布如表1所示。选择线性建模方法多元线性回性和时间序列分析法进行对比实验。

表1 5个智能头盔的抗电磁干扰数据分布

Tab. 1 Anti-electromagnetic interference data distribution of five intelligent helmets

智能头盔编号	抗电磁干扰数据
1	500
2	200
3	400
4	100
5	200

2.2 测试数据的嵌入维和时间延迟

采用混沌分析算法，确定5个智能头盔的抗电磁干扰数据的嵌入维和时间延迟，具体如表2所示。根据表2的结果建立智能头盔抗电磁干扰性能数据学习样本。

表2 测试数据的嵌入维和时间延迟

Tab. 2 Embedding and time delay of test data

智能头盔编号	嵌入维	时间延迟
1	5	7
2	4	10
3	7	8
4	5	5
5	5	7

2.3 结果与分析

采用本文方法和多元线性回性、时间序列分析法对5个智能头盔的抗电磁干扰性能的学习样本进行建模和分析，统计它们的单步分析准确度，结果如图2所示。从图2的单步分析准确度可看出：

1）多元线性回性、时间序列分析法的智能头盔的抗电磁干扰性能单步分析准确度均低于88%，智能头盔的抗电磁干扰性能分析误差比较大，无任何实际应用价值，这是因为它们无法描述智能头盔的抗电磁干扰变化态势。

2）本文方法的智能头盔的抗电磁干扰性能单步分析准确度高于95%，智能头盔的抗电磁干扰性能分析误差大幅度减少，这是因为本文方法引入混沌分析方法对智能头盔的抗电磁干扰数据进行重建模，并引入BP神经网络刻画智能头盔的抗电磁干扰变化态势，建立了更优的智能头盔抗电磁干扰性能分析模型。

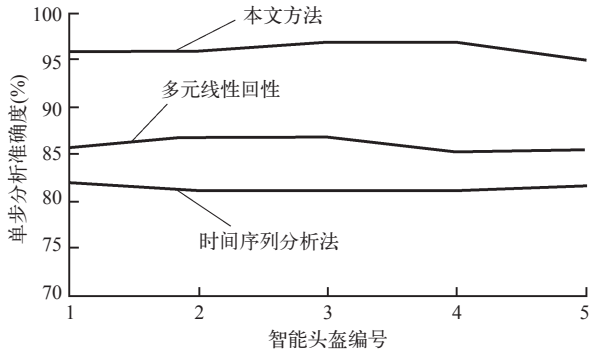


图2 智能头盔的抗电磁干扰性能单步分析准确度

Fig. 2 Single step analysis accuracy of anti-electromagnetic interference performance of intelligent helmet

由于智能头盔的抗电磁干扰性能单步分析结果只能描述下一个时间点的抗电磁干扰性能，在实际应用单步分析结果时更具有价值，因此统计智能头盔的抗电磁干扰性能多步分析准确度，结果如图3所示。从图3可知，本文方法的智能头盔的抗电磁干扰性能多步分析准确度同样高于多元线性回性和时间序列分析法，这表明，本文方法可以对将来一段时间的智能头盔的抗电磁干扰性能进行有效描述。

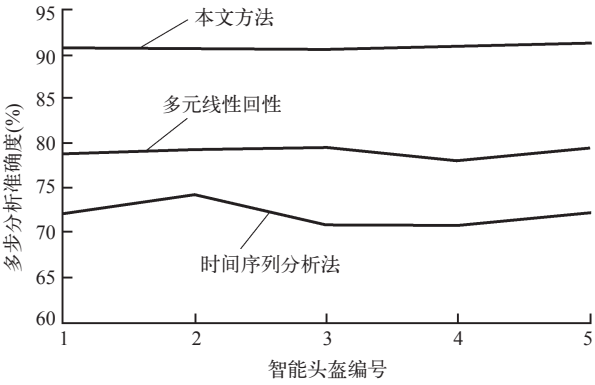


图3 智能头盔的抗电磁干扰性能多步分析准确度

Fig. 3 Multi-step analysis accuracy of anti-electromagnetic interference performance of intelligent helmet

3 结束语

为了提高智能头盔抗电磁干扰性能预测准确度，提出一种智能头盔抗电磁干扰性能的非线性建模方法，仿真实验结果表明，本文方法是一种准确度高、误差小的智能头盔抗电磁干扰性能建模技术。

参考文献

[1] 马龙．抗电磁干扰技术在煤矿监控系统中的应用[J]．煤矿安全，2019，50(11)：113-115．

[2] 张丹峰，王诗清．整流所综合自动化系统抗电磁干扰研究[J]．轻金属，2013(4)：74-77．

[3] 包奇金宝，梁慧军．基于ZigBee技术的矿井智能头盔[J]．实验室研究与探索，2010，29(4)：38-39，65．

[4] 徐振邦，居水荣，王天赦，等．PFM开关电源控制电路的抗电磁干扰设计[J]．电子器件，2018，41(2)：536-542．

[5] 居水荣，王津飞，石径，等．PFM开关电源集成电路的抗电磁干扰设计[J]．半导体技术，2017，42(8)：579-585．

[6] 朱前伟．煤矿安全监控系统及组成设备抗干扰设计[J]．工矿自动化，2017，43(6)：18-21．

[7] 孙磊，邵高耸，张庆利．消防智能可穿戴系统设计及应用研究[J]．消防科学与技术，2017，36(5)：669-671．

[8] 魏卓，董朝阳，胡四全，等．高压直流输电阀控设备抗电磁干扰分析与设计[J]．电力电子技术，2015，49(12)：8-9，12．

[9] 袁晓东．模块化智能头盔的应用设计研究[J]．包装工程，2015，36(22)：88-91，115．

[10] 金江波，赵伟，艾兵，等．保护用大电流互感器抗电磁干扰能力的等效测试方法[J]．清华大学学报(自然科学版)，2013，53(7)：1025-1029．

作者简介



张旭东

张旭东（1991－），男，硕士，研究方向为新能源，电网自动化。

(收稿日期：2020－01－02)EA



专业专注

时刻关注并推动中国电气技术的发展

《电气应用》是一本拥有光荣发展历程的全国优秀科技期刊。

自1982年创刊至今，已走过三十多年艰苦创业、改革发展的光辉历程。其所荣获的“全国优秀期刊、中国期刊方阵‘双奖期刊’和国家期刊奖‘百种重点期刊’、中文核心期刊”等诸多荣誉见证了编辑们的专业与勤奋，也博得了广大读者和业内专家的支持与厚爱，在众多电工类专业技术期刊中颇具影响力。

典藏技术 革新应用

国内统一刊号：CN11-5249/TM 国际标准刊号：ISSN1672-9560 国内邮发代号：82-341 国外发行代号：M1409