

RBF神经网络算法在动态称重中的应用*

陈超波 杨楠

(西安工业大学电子信息工程学院 西安 710000)

摘要: 针对高速公路动态检测系统中称重数据的复杂性,将不同的称重数据处理办法做出对比,并提出利用 RBF 神经网络对动态称重数据进行处理。文章首先综述性的介绍了车辆动态系统整体构成,之后对径向基函数网络的拓扑结构以及径向基函数中心的选取进行了介绍,最后利以试验台搭建检测平台,通过实验用两轴小车进行以不同的速度通过试验台,采集其动态参数。最后利用采集到的数据,用 MATLAB 进行仿真,验证了径向基函数网络对动态称重数据的处理表现出良好的速度与精度。

关键词: RBF 神经网络;超限检测;动态称重

中图分类号: TP183 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8040

Application of RBF neural network algorithm in dynamic weighing

Chen Chaobo Yang Nan

(College of electronic and information engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 71000,China)

Abstract: In this paper, focus on the complexity of weighing data in the dynamic detection system of the highway, the different weighing data processing methods to make a comparison, and proposed the use of RBF neural network to deal with the dynamic weighing data. Firstly review introduced the whole vehicle dynamic system, after the radial basis function network topology and the centers of the radial basis function selection are introduced. Finally the test-bed to build a testing platform, through experiments with a two axle vehicle with different speed through the test stand, the dynamic parameters acquisition. Finally, using the data collected, using MATLAB to simulate, verify the radial basis function network to the dynamic weighing data processing show good speed and accuracy.

Keywords: RBF neural network; overrun detection; dynamic weighing

1 引言

动态称重系统有着高精度、高效率等特点,广泛的运用于高速公路超限检测收费系统。但是,由于车辆抖动以及路面不平等因素,也使得称重传感器采集到的信号掺杂了很多干扰因素,从而影响汽车动态城中的精度。

目前为止,对动态称重信号处理的方法主要有:极值法、平均值法、参数估计法和神经网络法^[1-9]。文献[1]提出了利用递推最小二乘法实现非零值情况下的动态拟合。文献[2]提出了利用神经网络自适应滤波动态称重系统,通过神经网络提高了自适应能力和运算实效性。文献[3]利用输入特性值来训练网络模型,避免了复杂的数学建模。文献[4]提出了基于遗传算法的 BP 算法。以上的研究都不同程度的发展了车辆动态称重算法。对比以上各种算法,可以发现,神经网络算法可以进行并行分布处理,存储及学习能力强,对噪声鲁棒性和容错能力强,并且可以最大限度

地逼近复杂的非线性关系,具备联想记忆的功能,所以在车辆动态称重检测的过程中得到非常广泛的应用。文献[8]将 BP 网络与 RBF 网络进行对比,提出样本规模越大,RBF 网络较 BP 网络更加有效的观点。

2 动态称重系统的构成

汽车动态称重系统一般由车牌识别、车辆分离、称重平台、数据采集、显示、通信等部分构成。其中核心为称重平台、称重数据采集与处理、车速采集以及信号处理 4 个部分,如图 1 所示。称重传感器平铺与公路路面,汽车经过时

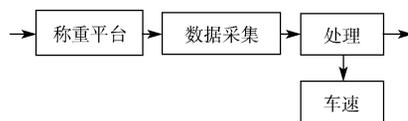


图1 动态称重系统

收稿日期:2015-09

* 基金项目:陕西省工业科技攻关(2014K06-40)资助项目

传感器将轴重信号转换为电压信号经过滤波、放大、数模转换发送至处理器。主机接收到该信号与车速信号,对其进行处理后得到车辆的车重。

3 影响汽车动态承重的因素分析

首先,对称重系统的物理过程进行分析,对象分为车轮和承重板两个。假设车辆匀速的通过称重板,承重板所收到的力如下。

1) 稳态载荷: 车辆在当前车轮上分担的重量而引起的载荷。

2) 瞬态载荷: 由于车辆由于自身和外界干扰而引起的载荷。

根据文献[10-12]的分析,瞬态载荷产生的因素很多,包括: 汽车的行驶速度、路面或称重平台造成的不平度以及车辆自身的抖动。通过对干扰的分析,抖动干扰可以通过硬件的搭建,如采用铰链式称重平台来有效的减少。而汽车的行驶速度是影响汽车动态称重精度的主要因素。

4 RBF 神经网络

RBF 神经网络即径向基函数神经网络(radical basis function)^[7-8]。是一种 3 层前馈网络,由输入层(input layer)、输出层(output layer)和隐层(hidden layer)组成。其中,输入层和输出层皆由线性神经元组成。隐层的激活函数(核函数)采用中心径向对称衰减的非负非线性函数,其作用是对输入信号在局部产生响应。输入层与隐层之间的权值固定为 1,只有隐层与输出层之间的权值可调。

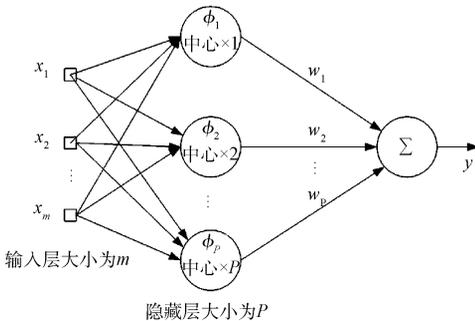


图 2 RBF 神经网络拓扑图

设输入矢量 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, 隐层节点个数为 m , RBF 网络的输出可表示为:

$$f(x) = \sum_{i=1}^m \omega_i \varphi_i(\|x - c_i\|)$$

式中: ω_i 是第 i 个隐层节点与输出层之间的权值; $\varphi_i(\|x - c_i\|)$, $i = 1, 2, \dots, m$ 为隐层激活函数。一般采用如下高斯函数:

$$\varphi_i(\|x - c_i\|) = \exp\left(-\frac{\|x - c_i\|^2}{2\sigma_i^2}\right)$$

式中: σ_i 和 c_i 分别表示该隐层节点的宽度和网路隐含层结

点的中心; $\|x - c_i\|$ 是欧氏范数。

5 RBF 神经网络学习算法步骤

一般来说, RBF 神经网络算法的学习过程分为 3 个部分。

首先, 基于 K -均值聚类方法求取基函数中心 c :

1) 网络初始化: 随机选取 h 个训练样本作为初始中心 $c_i(0)$, $i = 1, 2, \dots, k$ 。

2) 计算距离: $d_i(t) = \|x(t) - c_i(t-1)\|$

3) 求最小距离: $d_r(t) = \min d_i(t)$

4) 调整中心: $C_r(t) = C_r(t-1) + \beta[x(t) - c_r(t-1)]$, $i = r$; $C_i(t) = C_i(t-1)$, $i \neq r$, 其中 $0 < \beta < 1$ 为学习速度

5) 判别: 如果 $C_i(t) = C_r(t-1)$, $i = 1, 2, \dots, k$; 则终止迭代, 否则转 2)。

其次, 求解方差: RBF 神经网络的基函数为高斯函数, 故方差 σ_i 可以由下式求解:

$$\sigma_i = \frac{C_{\max}}{\sqrt{2h}} \quad i = 1, 2, \dots, h$$

最后, 权值 W 的学习, 采用有监督学习, 采用最小二乘法(LMS)算法。

设有 N 组输入样本 (X_p, d_p) , $i = 1, 2, \dots, n$

定义误差函数: $E = \sum_p E_p = \frac{1}{2} \sum_p \|d_p - y_p\|_2^2$

($y_p = (y_1, y_2, \dots, y_m)^T$)

$$E = \frac{1}{2} \sum_p \sum_j (d_{jd} - y_{jd})^2$$

1) 初始化权值 ($W_{ij}(0)$)

2) 计算输出误差

$$y_p(t) = \sum_i \omega_{ij}(t) u_{ip}$$

$$E_p(t) = \frac{1}{2} \|d_p - y_p(t)\|_2^2 = \frac{1}{2} e_p^2(t)$$

3) 调整网络权值

$$\omega_{ij}(t+1) = \omega_{ij}(t) - \eta \frac{\partial E_p}{\partial \omega_{ij}}$$

$$\text{取 } \eta = \frac{\alpha}{\|u_p\|_2^2} \quad (0 < \alpha < 2)$$

6 动态称重数据样本的获取

本课题在实验室搭建动态称重平台获得的实验数据。以双轴小车作为实验对象, 以 9 个不同级别的静态轴载 (1 200 g, 2 200 g, 2 700 g, 3 200 g, 3 700 g, 3 900 g, 4 200 g, 4 700 g, 5 200 g) 以 6 种不同的速度 (4. 87 km/h, 9. 85 km/h, 14. 54 km/h, 20. 19 km/h, 25. 30 km/h, 29. 82 km/h), 每种静态轴载在每一种速度下测试 5 次, 一共测量 270 次, 以每次测量值的最大值为基准, 取前后 50 个数据的平均值作为每个轴的动态轴载值, 相加得到动态车重值。如表 1 所示。

表1 实验测得动态车重值

速度/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	动态车重/ kg	静态车重/ kg	速度/ km/h	动态车重/ kg	静态车重/ kg	速度/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	动态车重/ kg	静态车重/ kg
4.86	1.198	1.2	4.89	3.221	3.2	5.10	4.211	4.2
9.85	1.248	1.2	9.85	3.276	3.2	9.91	4.229	4.2
14.54	1.259	1.2	15.20	3.301	3.2	15.23	4.234	4.2
20.19	1.283	1.2	19.98	3.343	3.2	20.17	4.284	4.2
25.30	1.303	1.2	24.75	3.368	3.2	25.23	4.200	4.2
29.82	1.345	1.2	29.73	3.405	3.2	29.91	4.15	4.2
15.13	2.224	2.2	5.12	3.712	3.7	5.01	4.729	4.7
10.13	2.237	2.2	10.17	3.729	3.7	9.95	4.783	4.7
14.76	2.251	2.2	14.75	3.734	3.7	15.40	4.801	4.7
20.14	2.275	2.2	20.17	3.784	3.7	20.18	4.834	4.7
24.58	2.303	2.2	25.23	3.800	3.7	24.89	4.908	4.7
30.08	2.454	2.2	29.91	3.915	3.7	29.89	4.995	4.7
5.12	2.714	2.7	5.01	3.923	3.9	5.02	5.235	5.2
9.97	2.738	2.7	9.95	3.983	3.9	9.84	5.298	5.2
14.76	2.780	2.7	15.40	4.101	3.9	15.41	5.315	5.2
19.75	2.798	2.7	20.18	4.134	3.9	20.20	5.384	5.2
25.12	2.841	2.7	24.89	4.208	3.9	24.99	5.432	5.2
29.97	3.412	2.7	29.89	4.305	3.9	29.94	5.498	5.2

7 网络训练及测试结果分析

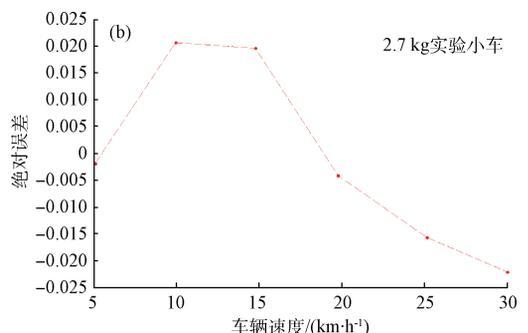
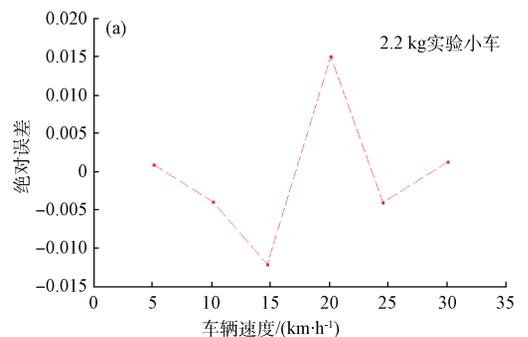
利用 MATLAB 中的神经网络工具箱建立 RBF 神经网络模型,利用 newrbe 函数训练 RBF 网络。将表 1 每组 4 个数据作为样本数据,剩下的数据作为训练样本来训练 RBF 网络,所有数据均在学习训练前经过归一化处理。得出部分训练结果及误差如表 2 所示。从表 2 部分数据可以看出,网络输出值与真实值接近,整个网络最大相对误差为 1.37%,符合设计要求。经过 MATLAB 仿后,绝对误差曲线如图 3 所示。

表2 测试结果及误差

静态车重/kg	速度/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	动态车重/kg	网络输出	相对误差/ (%)
1.2	4.86	1.198	1.202 04	0.17
2.2	5.13	2.224	2.199 13	0.39
2.7	9.97	2.738	2.679 41	0.76
3.2	9.85	3.276	3.238 51	1.20
3.7	14.75	3.784	3.649 25	1.37
3.9	15.40	4.101	4.022 77	0.54
4.2	9.91	4.229	4.177 38	0.54
4.7	29.89	4.995	4.697 61	0.05

神经网络算法需要大量的数据样本进行训练,普遍的动态称重系统在利用神经网络进行训练时采用车辆行驶速度与动态车重或者轴重信号的波形图的峰值作为依据。

但考虑到动态称重实际应用的复杂性,应将车型参数加入学习,例如利用两轴车训练出的 RBF 网络对 4 轴或者 6 轴车进行检验。不同车型传感器检测后呈现出的波形必然不同,加上训练的样本不全,必然会导致很大的误差。通过高速公路上火车的结构与公路实际测量的各轴重,可以让输入可以采用 8 个节点,分别是:车辆的行驶速度 v ,动



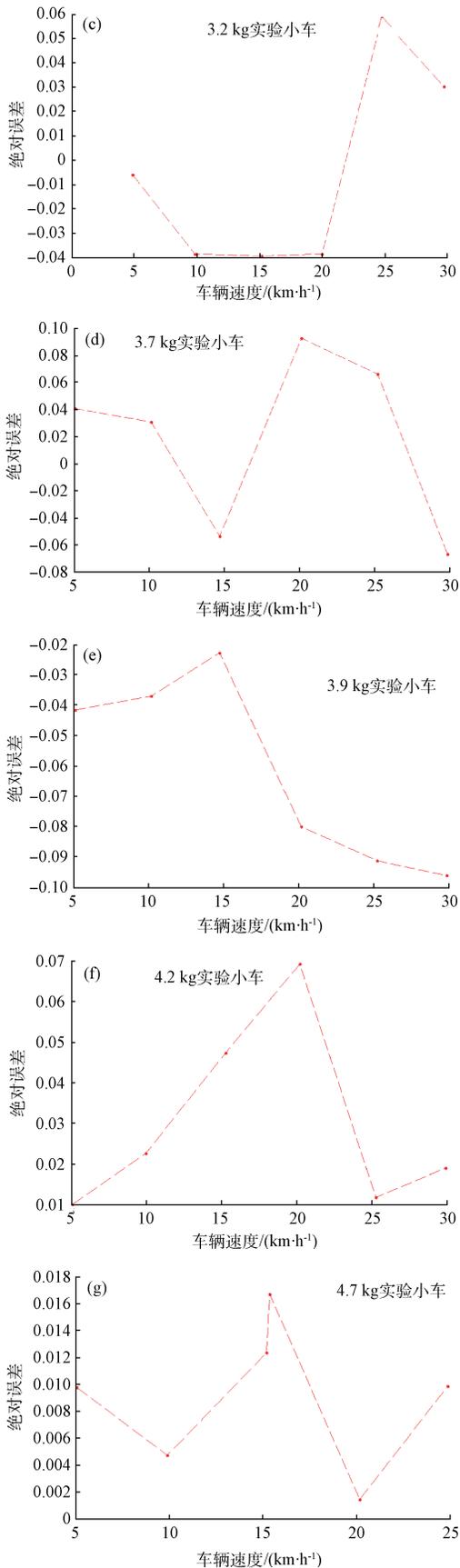


图 3 8 种实验小车误差曲线

态车重 M , 轴 1 重到轴 6 重 $M_1 \sim M_6$, 输入为车辆的真实载重值。

8 结 论

本文简述了利用 RBF 神经网络在车辆动态称重系统中的应用。由于车辆动态称重的复杂性。可以看出利用神经网络处理动态称重数据可以避免繁琐的数学建模, RBF 神经网络对实际的高速公路低速精检的数据处理有很大的实际意义。

参考文献

- [1] GU P, YAN X. Neural network approach to the reconstruction of freeform surfaces for reverse engineering [J]. Computer-Aided Design, 1995, 27(1): 59-64.
- [2] 黎志刚, 蔡萍, 周志峰. 基于 BP 网络的汽车动态称重数据处理方法[J]. 微计算机信息, 2006, 22(82): 251-253.
- [3] 张瑞, 吕文红, 张瑞玺. 基于神经网络自适应滤波的车辆动态称重研究[J]. 公路交通科技, 2010, 27(7): 138-141.
- [4] 和红丽, 张元, 吕运鹏, 等. 神经网络在汽车动态称重数据处理中的应用[J]. 自动化仪表, 2007, 28(5): 17-19.
- [5] 陈楠. 车辆动态称重系统数据传输及算法研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2014.
- [6] MANGEAS M, GLASER S, DOLCEMASCOLO V. Neural networks estimation of truck static weights by fusing weight-in-motion data[C]. Proceedings of the Fifth International Conference on Information Fusion, 2002, IEEE, 2002(1): 456-462.
- [7] 徐俐, 王书鹤. 基于 RBF 神经网络提高动态称重精度控制方法的研究[J]. 自动化博览, 2004, 21(5): 56-58.
- [8] 袁明新, 张勇, 张雨, 等. 基于 RBF 网络的动态称重系统的设计[J]. 交通与计算机, 2003, 21(20): 60-63.
- [9] 苏良显, 岳从然. 神经网络算法在公路动态称重中的应用[J]. 科技情报开发与经济, 2008, 18(27): 133-134.
- [10] 凌杰. 公路动态称重系统的设计理论研究[D]. 西安: 长安大学, 2001.
- [11] 陈超波, 沈辰. 公路超载车辆动态预检系统的研究[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(12): 49-52.
- [12] 冯琳, 陆阳, 魏振春, 等. 一种新型多载波传输方式的研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2012, 26(11): 953-959.

作者简介

陈超波, 1978 年出生, 副教授, 研究方向为智能控制与模式识别。