

# 利用神经网络提高编码器精度的方法

续志军, 洪喜, 于欣

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

**摘要** 介绍了编码器误差的构成及特点, 针对系统误差的分布规律与特点提出了基于神经网络的误差修正方法。采用非线性逼近精度较高的径向基函数神经网络, 以采样点的角度值作为网络的输入样本, 以高精度检测编码器的检测值作为学习目标建立了误差修正模型。实验结果表明, 采用此种方法可将编码器的精度提高至原来的3倍以上, 可有效地改善编码器的系统精度。

**关键词** 编码器; 神经网络; 误差修正

**中图分类号** :TP212.12; TP183 **文献标识码** :A

## Improvement of precision of encoder based on neural network

XU Zhi-jun, HONG Xi, YU Xin

(*Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,*  
*Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China*)

**Abstract** : A new method based on Radial Basis Function (RBF) neural network was proposed to correct the system error of a optical encoder. The modeling method of RBF was introduced in detail and the theoretical basis for adjusting the parameters of the model was given. A new model for error correction was set up by taking the test values of the high precision instrument as outputs and the angle values of sample points as inputs. The testing results show that the precision of the encoder by this method has increased by 3 times as compared with that of traditional method and the precision of measuring system is improved greatly by using the RBF model as error compensation.

**Key words** : encoder; neural network; error correction

## 1 引言

光电轴角编码器是角度测控系统的重要传感元件, 它是以圆光栅为核心, 采用莫尔条纹技术,

将角位移转换成电信号的一种传感器。随着测控技术的快速发展, 对光电编码器的精度提出了更高的要求, 许多提高编码器精度的方法应运而生。这些方法在提高光栅精度和分辨率的同时, 还广泛采用误差补偿方法, 如用平均造点法剔除较大

的误差值,利用优化算法提高细分精度<sup>[1]</sup>,用椭圆拟合法补偿相位误差<sup>[2]</sup>等。由于误差本身具有的非线性特点,难以用准确的数学模型描述,对提高编码器的精度也是有一定限度的。本文提出利用神经网络进行误差修正,避免了传统方法进行误差分析的复杂性,不需要掌握误差的分布规律及先验知识。同时神经网络具有良好的自学习、自适应和非线性动态处理特性,可以高精度地逼近任何非线性误差曲线,克服了以往方法拟合精度不高的弊端。实验证明,利用神经网络修正编码器误差效果优于传统方法。

## 2 编码器的误差构成

光电轴角编码器误差主要包括长周期误差、细分误差及量化误差。此外,在精度检测过程中还会引入测量方法误差及外界环境因素导致的误差等。

长周期误差也称分度误差,包括:光栅直径误差(刻线误差)、轴系误差和安装误差(光栅盘安装偏心)。大量的检测数据验证表明,长周期误差的空间分布为包含低次谐波的近似正弦曲线。细分误差是由光电信号幅值、正交性及直流电平的变化、信号波形质量等诸多因素造成的。光电信号变化的原因在于光栅刻线宽度不均匀,光栅盘端面跳动等,而电源电压波动、环境温度变化也会改变光电信号幅值,从而使细分误差加大。由于细分误差包括电路误差,对环境因素变化敏感,其数值、曲线及概率分布都不太稳定。量化误差完全由分辨力的大小决定,其数值可正可负,小于最小分辨率。理论与实验表明,量化误差服从均匀分布。测量方法误差是检测过程中测量设备的自身误差、位置调整误差、瞄准误差等误差项的归并,通过合理选择、调整,这些误差相对于仪器误差属小项,其数值已包含在测量数据中。

一般地讲,长周期误差是缓慢、平滑变化的,其频谱范围远小于莫尔条纹信号的空间频率;细分误差的基波频率等于莫尔条纹信号的空间频率,同时,它具有参数连续性的特点,其特征参数如幅值、相位、频谱分布等关键性参数在全量程上也是连续和平滑的,这些参数变化的频率范围

远小于莫尔条纹信号的空间频率,随机误差的频率很高,其频谱范围远大于莫尔条纹信号的空间频率。由于周期累计误差、细分误差两部分误差均为系统误差,因而可通过误差补偿方法予以修正。

## 3 RBF 网络的编码器误差补偿原理

径向基网络(Radial Basis Function, RBF)是一种局部逼近的单隐层前馈神经网络<sup>[3]</sup>,具有学习速度快、全局最优及逼近精度高等优点<sup>[4]</sup>。单隐层前馈 RBF 网络结构如图 1 所示。

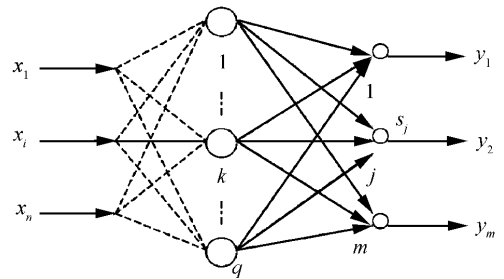


图 1 RBF 网络

Fig. 1 RBF model

将 RBF 网络用于编码器误差补偿的基本工作原理是:将采样点处的被测编码器角度值作为网络的输入样本,将高精度编码器的检测值作为网络的预期值,利用网络输出值与预期值之间的误差来调节权因子(这个过程是多次完成的)。同时,根据样本特征不断调节径向基函数的中心和宽度,使得建立的网络模型能较好地拟合出整条误差曲线。

利用人工神经网络修正编码器误差,分两步完成:一是提供一定数量的学习样本数据供神经网络进行进化学习,样本数据的精度决定了神经网络滤波器的效果。二是神经网络完成学习训练,作为一个滤波器来实现对低精度编码器误差的修正,以提高编码器输出精度。

## 4 编码器的误差修正及数据分析

本文利用编码器精度检测装置,以 23 位高精度编码器作为基准,对自制的 34 200 lines/circle

增量式编码器进行精度检测。编码器精度检测装置框图如图 2。由 DSP 组成的 RBF 网络学习机,同时接收 23 位高精度编码器和增量式编码器数据,将得到的检测数据作为网络的学习样本与测试样本。文中以  $0, 10 \dots 360^\circ$  的采样值为训练样本进行学习能力检验,以  $5, 15 \dots 355^\circ$  的采样值为测试样本进行泛化能力检验,用样本的残差标准差作为评价模型质量的标准。同时,为验证方法工程应用的可行性,本文将 DSP 运行条件下进行一次误差补偿所用的时间也作为实验结论之一。

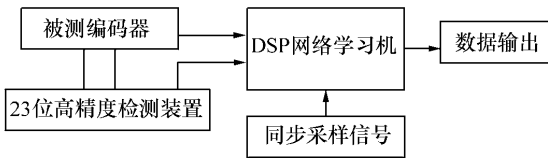


图 2 编码器精度检测装置

Fig. 2 Precision measurement system for optical encoder

由于网络参数中隐层节点数的选择既影响建模精度,又影响 DSP 运行速度,因此这里重点比较了不同隐层节点数对精度及运行时间的影响。

#### 4.1 不同隐层节点的误差补偿效果对比

在未经 RBF 网络进行误差补偿时,测得系统精度  $\sigma = 1.28''$ 。

设置隐层节点为 6、8、10 时,补偿效果分别如图 3、图 4、图 5。

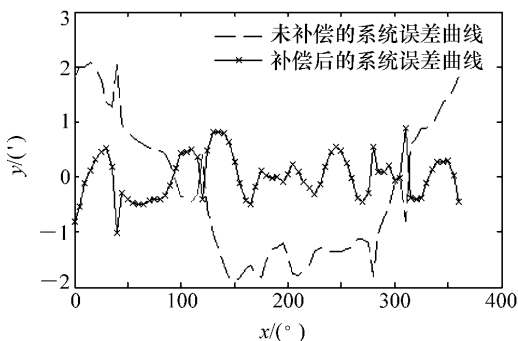


图 3 6 个隐层节点误差对比

Fig. 3 Comparison of error curves for RBF model with 6 hidden nodes

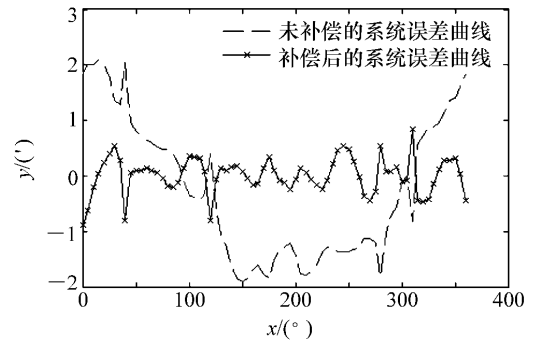


图 4 8 个隐层节点误差对比

Fig. 4 Comparison of error curves for RBF model with 8 hidden nodes

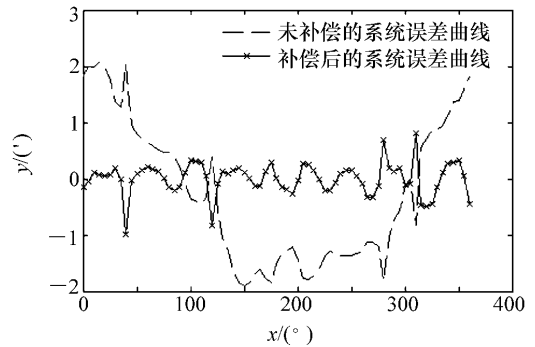


图 5 10 个隐层节点误差对比

Fig. 5 Comparison of error curves for RBF model with 10 hidden nodes

可以看出,设置隐层节点为 6 时,系统误差  $\sigma = 0.41''$ ; 隐层节点为 8 时,系统误差  $\sigma = 0.32''$ ; 隐层节点为 10 时,系统精度  $\sigma = 0.28''$ 。

当设置更多隐层节点时,对精度的改善作用已经不明显,隐层节点增加到 20 时,  $\sigma = 0.24''$ ,但此时每增加一个节点都会极大地增加 DSP 的运算负担,甚至使其运行时间产生量级的变化。因此,针对此编码器将隐层节点数设置为 10 即可满足需要。本文也对其它编码器进行了检测与建模补偿,实验表明  $\delta \sim 10$  个节点数可以满足大多数补偿精度的需要。对于某些编码器系统,其对精度要求较高,但对实时性无严格要求,此时则可设置更多隐层节点。

#### 4.2 不同隐层节点的 DSP 运行时间

为了验证方法的有效性,本文在控制隐层节点个数的同时并没有对建模方法进行更多的精

简,上述实验条件下系统的运行时间如表1所示。表中给出的均为最大运行时间,DSP真正工作时的运行时间均会有所缩减。

表1 DSP对不同隐节点的运算时间  
Table 1 Operation time of RBF model for different hidden modes

节点数	运行时间/ $\mu\text{s}$	精度
6	212	0.41
8	270	0.32
10	340	0.28
12	416	0.26
20	780	0.24

#### 参考文献:

- [1] 刘文艺,费业泰.高精度的光栅信号细分算法[J].应用科学学报,1999,17(1):70-74.  
LIU W W,FEI Y T. A high accuracy algorithm for the interpolated displacement of grating signal[J]. *J. Appl. Sci.*, 1999,17(1):70-74.(in Chinese)
- [2] 王选择,郭军,谢铁帮.精密衍射光栅信号的椭圆拟合与细分校正算法[J].工具技术,2003,37(12):47-49.  
WANG X Z, GUO J, XIE T B. Ellipse fit algorithm and subdivision revision method of precision diffraction grating[J]. *Tool Eng.* 2003,37(12):47-49.(in Chinese)
- [3] 王文成.神经网络及其在汽车工程中的应用[M].北京:北京理工大学出版社,1998.  
WANG W CH. Neural Network and its Application to Automative Engineering[M]. Beijing:Beijing Institute of Technology Press,1998.(in Chinese)
- [4] 谢明红.基于径向基函数网络的图像三维恢复技术在雕刻加工中的应用[J].光学·精密工程,2007,15(1):117-123.  
XIE M H. Application of 3D image recovering technology based on radial basic function newtwork to engraving[J]. *Opt. Precision Eng.* 2007,15(1):117-123.(in Chinese)

作者简介 续志军(1953—),男,山东汶上人,研究员,博士生导师,主要研究方向为计算机测控技术。E-mail: xuzj538@ciomp.ac.cn。

## 5 结 论

1、利用 RBF 神经网络进行编码器的误差补偿,不需预先知道误差的成因及分布规律,避免了实际工作中某些复杂的分析与测试工作。

2、在工程应用中采用神经网络法时,要根据精度及实时性的要求选择不同的建模参数,为了满足实际工程需要,常要对算法进行一定程度的优化与简化。

将智能算法运用到编码器的研发设计中,所设计的编码器具有精度高、自适应性好等优点。此方法也可以应用于其它测量方法的误差补偿中。