

文章编号: 1001-3806(2003)06-0594-03

神经网络在光电位置坐标传感器中的应用*

莫长涛^{1,3} 陈长征² 张黎丽³ 孙凤久¹⁽¹⁾东北大学理学院,沈阳,110004) ⁽²⁾沈阳工业大学建筑系,沈阳,110023)⁽³⁾哈尔滨商业大学基础部,哈尔滨,150076)

摘要: 光电位置敏感器件(PSD)是一种可直接对其光敏面上的光斑进行检测的光电器件,基于 PSD 可以构成多种非接触的高精度动态位移监测仪器。在 PSD 器件使用中的一个关键问题是如何克服器件本身的非线性,以提高监测的精度和可靠性。提出一种基于神经网络的 PSD 非线性补偿方法,利用神经网络具有逼近任意非线性函数的特点,通过训练使神经网络建立在 PSD 输出与其理想值之间的非线性映射关系,实现 PSD 非线性补偿。计算机仿真表明,该方法不仅能有效地消除非线性的影响,而且能在神经网络的输出端得到期望的线性输出。

关键词: 光电位置敏感器件;补偿;非线性;神经网络;BP 算法

中图分类号: TN15;TN247 **文献标识码:** A

Neural network application in position sensitive detector

Mo Changtao^{1,3}, Chen Changzheng², Zhang Lili³, Sun Fengjiu¹⁽¹⁾ School of Science, Northeast University, Shenyang, 110004)⁽²⁾ Department of Building, Shenyang Industry University, Shenyang, 110023)⁽³⁾ Department of Foundation, Harbin Commercial University, Harbin, 150076)

Abstract: The position sensitive detector(PSD) is an photo-electronic sensor which can detect the continuous position of a light spot traveling over its surface, and convert the position of light spot to simple electric current signal. Based upon PSD, many types of precision and contactless motion detection instruments could be constructed. The most important problem to use the PSD is how to overcome the influence of non-linear action on the PSD. Therefore to improve the precision and reliability of the instrument. Based on artificial neural network, a non-linear compensation method of PSD is presented in this paper. In order to non-linear compensation over a full range, the neural network is trained to represent the non-linear mapping between sensor reading and their represent output accurately properly. It is revealed from the computer simulation result that not only the influence of non-linear fluctuation can be eliminated effectively, but also a desired linear relationship between the sensor input and the neural network output can be obtained.

Key words: PSD; compensation; non-linearity; neural network; BP optimizations

引言

PSD 是一种先进的光电位置传感器,由于其很好的时间响应性及较高的位置分辨率而得到广泛的应用,但美中不足的是 PSD 的非线性使得整个器件所测数据置信度下降。尽管有些作者的改进型^[1] PSD 使线性度得以改善,但非线性仍不可避免。如何解决这些问题已成为目前研究该类传感器的主攻方向。随着人工智能技术尤其是人工神经网络的发展,为传感器的信号处理提供了新的有效手段,可望

在降低对传感器材料性能的要求下,提高传感器的检测性能。作者提出用神经网络实现 PSD 非线性补偿,计算机仿真表明该方法是有用的。

无论一维光电位置敏感器件还是二维光电位置敏感器件,其基本原理是一样的,它们都是在片状本征半导体硅的表面通过掺杂工艺形成面状的 pn 结,灵敏表面薄层电阻线性均匀一致,在光敏面的两对对边上的几何中心点位置引出 4 个收集光电流的电极。当入射光束落在光敏面上形成光点时,光能将转换成穿过 pn 结的光电流,此电流在光敏面电阻层上以面电流的形式扩散并被光电位置敏感器件边沿的 4 个电极收集。由于光敏面电阻的作用,当光点位置距各电极距离不同时,4 个电极收集到的电流强度也不相同,各电极收集到电流强度与光点在光

* 国家自然科学基金资助项目。

作者简介:莫长涛,男,1964 年 1 月出生。副教授,博士研究生。主要从事光电技术和传感器技术的研究。

收稿日期:2002-09-09;收到修改稿日期:2003-04-07

敏面上位置唯一对应。取光敏面的几何中心位置为二维 $x-y$ 坐标系原点, 4 个电极电流分别为 I_1, I_2, I_3, I_4 。根据光电位置敏感器件输出电流计算其光敏面上光点位置的方程为^[2]:

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{(I_{x_2} + I_{y_1}) - (I_{x_1} + I_{y_2})}{I_{x_1} + I_{x_2} + I_{y_1} + I_{y_2}} L \\ y &= \frac{(I_{x_2} + I_{y_2}) - (I_{x_1} + I_{y_1})}{I_{x_1} + I_{x_2} + I_{y_1} + I_{y_2}} L \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

对每一器件来说, 电极间的距离是一定值, 是一常量系数, 在讨论时没有分析。由方程可看到, 通过对各电极收集到的电流强度的运算, 即可求出光点在光电位置敏感器件光敏面上的位置。但由于 n 区材料的不均匀性、电极形状等因素而造成 p 区结面上电阻率不为恒量, 从而成为 PSD 非线性的主要影响因素。故针对此, 作者提出了一种神经网络方法对非线性补偿, 使得在神经网络的输出端得到期望的线性输出。

1 BP 神经网络模型的建立

由于工艺上用于制作 PSD 的硅片材料的非均匀性往往呈现出一种缓慢的梯度变化, 故整个 PSD 面上的位置误差函数 $E(x, y)$ 便是一小梯度曲面^[3]。若将此函数离散化, 得到一系列网格点阵上的误差函数值, 则可利用神经网络 BP 算法对其进行函数拟合, 便可以得到待测点的逼近值。

1.1 非线性校正的神经网络方法

非线性补偿原理如图 1 所示。由传感器出来的信号经整形、滤波、放大、运算、标定后送神经网络进行补偿。由(1)式输出的 x, y 是非线性的, 不能用解析式显示表示, 但是可以利用前向神经网络能够任意精度逼近非线性函数^[3]的特点实现:

$$z_1 = f(x), z_2 = f(y) \quad (2)$$

这样, 只要把传感器的输出 x, y 加在前向神经网络的输入端, 在神经网络的输出端就可以得到期望的线性输出 z_1, z_2 。

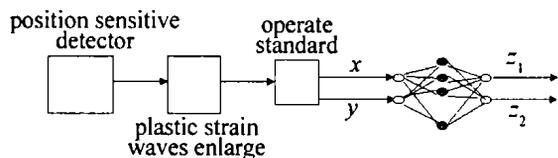


Fig. 1 Non-linear compensation principle of PSD

1.2 非线性训练样本的获取及网络结构参数和训练算法的选择

为了实现 PSD 传感器的非线性补偿, 必须先选

择神经网络结构并进行训练。由于神经网络的结构、训练神经网络的样本数据及训练算法是影响 PSD 传感器的非线性补偿效果的重要因素, 因此, 下面将对这些计算参数的选取原则进行说明。

对于神经网络的结构, 作者希望在能实现有效补偿的情况下, 采用尽可能简单的结构。这需要确定网络隐层的层数以及网络各层的神经元数量。如图 2 所示, 由于神经网络要接收两个由传感器送来的信号 x 和 y , 并要求输出两个信号 z_1, z_2 , 因此, 输入层和输出层的神经元数量都应取为 2。已经证明有一个隐层的前向神经网络可以实现任意非线性映射^[4], 因此采用包含一个隐层的 3 层神经网络。隐层取 14 个神经元可以得到较好的补偿效果^[5,6]。

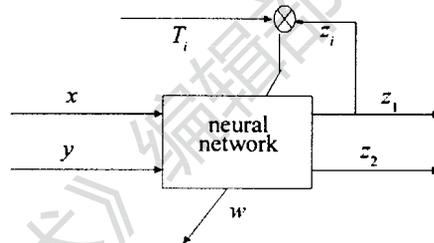


Fig. 2 Training the neural network

训练神经网络的样本数据可通过如图 3 所示的装置获得。将 PSD 放在二维高精度数控平台上, 利用步进电机逐点采集输出的电压值 V_x, V_y , 并用坐标值对其标定就得到了训练样本。训练样本的选取应覆盖整个测量空间, 并且训练样本之间的间隔不能太大, 否则影响网络的推广性。

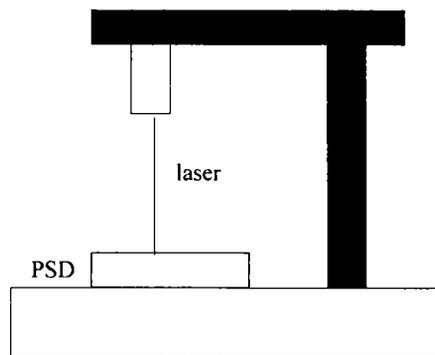


Fig. 3 PSD standard

以上述样本中的 x, y 作为神经网络的输入, 并以 T 作为神经网络的期望输出, 对神经网络进行训练。训练时神经网络的实际输出 Z 与期望输出不断地进行比较, 并根据两者之差, 应用神经网络训练算法调整网络的权值, 使不断逼近 T , 直到误差平方和满足:

$$\sum_{i=1}^m [Z(i) - T(i)]^2 \quad (3)$$

或训练达到预先给定的循环次数。(3) 式中, m 为

训练样本数, 为一预先设定的小正数。训练结束时, 神经网络内的权值上, 实际已分布存储了传感器的非线性补偿及线性化信息。

2 计算机仿真及结果

用程序模拟前向神经网络模型及(2)式所描述的传感器模型, 对作者提出的方法进行仿真验证。

作者采用的是二维 C202 型位置灵敏传感器, 样本数据每隔 1mm 等间隔选取 6×6 个数据点。神经网络采用 2-14-2 结构, 即输入端将 2 个输入端的信息传递到隐层, 隐层由 14 个双曲正切激活函数的神经元构成, 而输出层由 2 个线性激活函数的神经元构成。用上述样本数据对神经网络进行训练, 动量因子 0.9、学习率 0.7, 经过 20000 迭代计算, 误差平方和为 0.000104。若要求更高的精度, 可以增加训练次数, 但要注意用样本数据之外的测试数据对训练后的神经网络进行测试, 避免因训练过度而影响网络的推广性。

从图 4a 可以看出, 在用神经网络补偿前 PSD 传感器输出受制造工艺的影响, 并且呈明显的非线性, 由此引起的误差在测量时是不容忽视的。由图 4b 可以看出, 经神经网络补偿后, 当测量范围较宽时, 在神经网络的输出端也能得到一个期望的线性输出信号。经测试数据检验, 即上述方法训练后的神经网络有很好的推广能力, 即使将不属于样本数据的

待测坐标值作为传感器的输入, 在神经网络的输出端也能得到一个合适的输出, 如图 4c 所示。

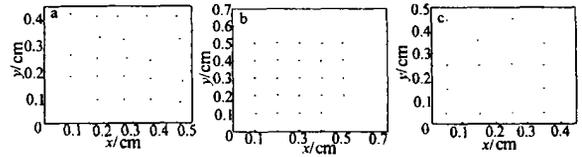


Fig. 4 a—sensor's output b—neural network output c—neural network output

3 结论

PSD 作为一种高准确度、高灵敏度位置传感器, 如何克服非线性带来的影响, 是测量领域关心的问题, 作者所提出的神经网络 BP 算法则弥补了 PSD 的非线性的不足, 从而提高了 PSD 的利用价值。

参考文献

- [1] Wang W J, Itene J, Busch V. IEEE Transactions on Electron Devices, 1989, 36(11): 475 ~ 480.
- [2] 史锦珊. 光电子学及其应用. 北京: 机械工业出版社, 1991: 483 ~ 485.
- [3] 袁红星, 王志兴, 贺安之. 仪器仪表学报, 1999, 20(3): 271 ~ 274.
- [4] Noriega J R, Wang H. IEEE Transactions Neural Networks, 1998, 9(1): 27 ~ 34.
- [5] 侯祥林, 陈长征, 虞和济 et al. 东北大学学报(自然科学版), 1999, 20(4): 447 ~ 450.
- [6] 王旭, 王宏, 王文辉. 人工神经网络原理与应用. 沈阳: 东北大学出版社, 2000: 51 ~ 54.

(上接第 516 页)

光束在远场的像散已比平顶高斯光束严重了。

3 小结

编制了强激光大气传输的四维仿真程序, 并对初始场分布为高斯和平顶高斯的光束在光束控制系统内传输的热效应作了数值模拟。计算结果表明, 尽管强激光在光束控制系统内的传输距离很短, 但由于传输通道中的热效应影响, 随发射功率的加大评价远场光束质量的参数 Strehl 比减小, $R_{86.5\%}$ 和 w_y/w_x 增大, 这意味着远场功率集中度下降, 像散变得严重, 光束质量变差。远场光束质量与发射光束初始场分布有关。当发射功率增加到一定值(本文中计算例为 $P = 2.5 \times 10^5 \text{W}$)后, 平顶高斯光束的远场光束质量要优于高斯光束。

作者曾就仿真程序有关问题与中科院光电所金钢研究员和刘顺发博士进行了有益的讨论, 特此致谢!

参考文献

- [1] Smith D C. Proc IEEE, 1977, 65(12): 1679 ~ 1714.
- [2] Gebhardt F G. SPIE, 1990, 1221: 2 ~ 25.
- [3] Karr T J. SPIE, 1990, 1221: 26 ~ 57.
- [4] Fleck J A, Morris J R, Feit M D. Appl Phys, 1976, 10: 129 ~ 160.
- [5] 陈栋泉, 李有宽, 徐锡申 et al. 强激光与粒子束, 1993, 5(2): 243 ~ 252.
- [6] 金钢, 刘顺发, 李树民 et al. 中国激光, 2002, A29(10): 895 ~ 899.
- [7] 刘顺发, 金钢, 陈洪斌 et al. 光电工程, 2001, 28(6): 14 ~ 16, 72.
- [8] 吕百达. 强激光的传输与控制. 北京: 国防工业出版社, 1999: 65 ~ 68.
- [9] Lü B D, Luo S R, Zhang B. J Mod Opt, 1999, 46(12): 1753 ~ 1762.