

文章编号: 0258-7025(2004)04-0427-05

光电位置敏感器件背景光补偿的研究

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, 辽宁 沈阳 110004

(² 沈阳工业大学建筑系, 辽宁 沈阳 110023; ³ 哈尔滨商业大学基础部, 黑龙江 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光斑位置进行检测的光电器件,基于光电位置敏感器件可以构成多种非接触的高精度动态位移监测仪器。根据光电位置敏感器件的原理及特征方程,分析了存在背景光时它的输出信号是非线性的。提出一种基于神经网络的光电位置敏感器件背景光非线性补偿方法。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不同背景光下光电位置敏感器件输出与其标准值之间的非线性映射关系,对其实现全程跟踪补偿。计算机仿真表明,该方法能有效地消除背景光的影响,在神经网络的输出端得到期望的线性输出。

关键词 光电子学;背景光;光电位置敏感器件;非线性;神经网络;补偿

中图分类号 TN 15 **文献标识码** A

Study on Background Light Compensation of Photo-Electric Position Sensitive Detector

MO Chang-tao^{1,3}, CHEN Chang-zheng², ZHANG Li-li³, SUN Feng-jiu¹

¹ School of Science, Northeast University, Shenyang, Liaoning 110004, China

² Building Department, Shenyang Industry University, Shenyang, Liaoning 110023, China

³ Foundation Department, Harbin Commerical University, Harbin, Heilongjiang 150076, China

Abstract The position sensitive detector (PSD) is photo-electronic sensor which can detect the position of a light spot travelling over its surface, and convert the position of light spot to simple electric current signal. The most important problem to use the PSD is how to overcome the influence of background light action on the PSD. Based on the PSD analyses, it is found that the signal of PSD is nonlinear when there exist background light. A method for background light compensation of photo-electric position detector based on the artificial neural network is presented in this paper. In order to compensate background light over a full range, the neural network is trained to properly represent the nonlinear mapping between sensor reading and their represent output accurately at different background light. It is revealed from the computer simulation that the influence of background light fluctuation can be eliminated effectively, and a desired linear relationship between the sensor input and the neural network output can be obtained.

Key words optoelectronics; background light; PSD; non-linearity; nerve network; compensation

1 引 言

光电位置敏感器件(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,但美中不足的是其工作

时会受到入射光以外的其他背景光干扰^[1~3],影响测量的精度和可靠性,为此在测量时必须研究背景光对位置精度的影响及克服干扰的办法。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。虽然一些研究者对光电位置敏感器件背景光的特性

收稿日期:2002-12-05;收到修改稿日期:2003-03-10

作者简介:莫长涛(1964—),男(回族),哈尔滨商业大学副教授,东北大学博士研究生,主要从事光电技术和传感器技术的研究。E-mail:mochangtao@yahoo.com.cn

进行了研究^[4,5],并提出一些补偿办法,但这些方法多限于硬件补偿。硬件补偿不仅增加成本,而且很难找到具有相同性能参数的光电位置敏感器件,因此补偿效果不是很理想。

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。本文提出用神经网络实现光电位置敏感器件背景光补偿,并同时实现传感器输出的非线性校正方法。计算机仿真表明该方法是有效的。

2 二维光电位置敏感器件的工作原理

无论一维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四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四个电极收集。由于光敏面电阻的作用,当光点位置距各电极距离不同时,四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,四个电极电流分别为 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^[6]

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

对每一器件来说电极间的距离 L 为一定值,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。

3 背景光对光电位置敏感器件的干扰

背景光按照它的作用形式来分属于漫散射杂光。漫散射杂光经光学镜头后落在光电位置敏感器件上呈均匀的光强分布,光能分布的几何中心与光电位置敏感器件几何中心重合,在其作用下它的各电极收集到的电流强度相等,因此漫散射杂光的作用等效于在它的光敏面几何中心作用一个光点。这样,在测量时相当于在光电位置敏感器件上除了目标物光点外还有一个干扰光点,此时光电位置敏感器件的输出信号是两个光点共同作用的结果,解出的位置也包含两个光点的信息。因此光敏面上光点位置的方程为^[7]

$$\begin{aligned} x &= (1 + K^{-1})^{-1} x_0 + (1 + K^{-1})^{-1} x_b \\ y &= (1 + K^{-1})^{-1} y_0 + (1 + K^{-1})^{-1} y_b \end{aligned} \quad (2)$$

其中, $K = I_0/I_b$, I_0 为光电敏感器件输出的总电流, I_b 为背景光单独作用时光电敏感器件输出的总电流,由公式(2)可以看出,当入射光源和背景光源共同作用于光电敏感器件上时,由光电敏感器件输出电流算出的位置坐标是非线性函数,因此,当测量范围较大时,无论是 x 还是 y 均不能作为测量输出。

4 背景光的神经网络补偿法

背景光补偿原理如图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。由公式(2)输出的 x, y 是非线性的,但是可以利用前向神经网络能够以任意精度逼近非线性函数^[8]的特点实现

$$z_1 = f(x) \quad z_2 = f(y) \quad (3)$$

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待测电压成理想线性关系且与背景光无关的输出 z_1, z_2 。

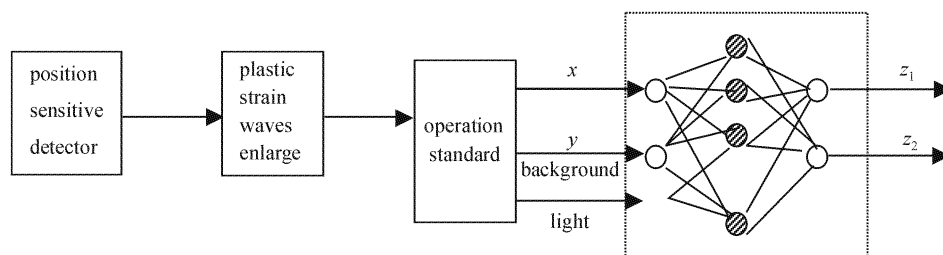


图1 光电位置坐标传感器背景光补偿原理

Fig. 1 Background light compensation principle of PSD

为了实现光电位置敏感器件传感器的背景光补偿,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光电位置敏感器件传感器背景光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,希望在能实现有效补偿的情况下,采用尽可能简单的结构。这里需要确定的是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, y 和背景光的信号,并要求输出两个与背景光无关的信号 z_1, z_2 , 因此输入层和输出层的神经元数量分别取为 3 和 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^[8], 因此采用包含一个隐层的三层神经网络。隐层取 34 个神经元可以得到较好的补偿效果^[9]。

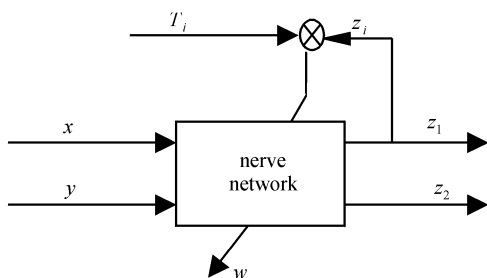


图 2 神经网络的训练

Fig. 2 Training of the nerve network

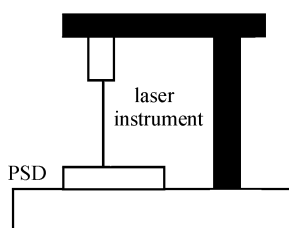


图 3 光电位置坐标传感器的标定

Fig. 3 PSD standard

训练神经网络的样本数据可通过如图 3 所示的装置获得。将光电位置敏感器件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。

因训练前向神经网络的标准 BP 算法收敛速度慢、对插值精度比较低,且在训练过程中易陷入局部最小点,通常出现震荡现象不稳定,故在训练神经网络

时采用多层共轭梯度优化算法可有较高精度^[9], 缩短训练时间。训练方法如图 3 所示。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

$$\sum_{i=1}^m [z(i) - T(i)]^2 \leq \epsilon \quad (4)$$

或训练达到预先给定的循环次数。式(4)中, m 为训练样本数, ϵ 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背景光补偿及线性化信息。

5 仿真计算与分析

用程序模拟前向神经网络模型及公式(3)所描述的传感器模型,对本文提出的方法进行仿真实验验证。

本文采用的是二维(13 mm × 13 mm) C202 型位置灵敏传感器,样本数据每隔 1 mm 等间隔选取 13 × 13 个数据点。

神经网络采用 3—34—2 结构,即输入端将 3 个输入端的信息传递到隐层,隐层由 34 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 13596 次循环训练,误差平方和为 0.00012。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,以免因训练过度而影响网络的推广性。

表 1 为自然光、自然光和两个日光灯和两个白炽灯照射时,标准样本输入和理想输出。其中 x_1, x_2 分别表示二维光电位置敏感器件实际的 x 方向坐标和 y 方向坐标, T_1, T_2 分别表示要达到的目标值(理想输出)。从表 1 可以看出,在用神经网络补偿前光电位置敏感器件输出 x, y 均受背景光的影响,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。由表 2 可以看出,经神经网络补偿后,在有背景光时,在神经网络的输出端也能得到一个与背景光无关的且与位置坐标呈线性关系的输出信号。

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。

表 1 标准样本输入和理想输出
Table 1 Input and hopeful output of standard sample

Sample	Different background light actual input/mm						Hopeful output/mm	
	Naturally light		Naturally light and two fluorescent lamp		Two incandescent lamp		T_1	T_2
	x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2		
1	3.483	2.453	3.254	2.301	4.579	3.821	4.500	3.500
2	2.722	2.495	2.550	2.322	3.537	3.817	3.500	3.500
3	1.998	2.442	1.851	2.291	2.482	3.819	2.500	3.500
4	1.250	2.435	1.167	2.262	1.495	3.765	1.500	3.500
5	0.533	2.396	0.496	2.253	0.529	3.736	0.500	3.500
6	3.704	1.545	3.469	1.449	4.714	2.867	4.500	2.500
7	2.881	1.478	2.745	1.448	3.574	2.850	3.500	2.500
8	2.190	1.447	1.979	1.373	2.586	2.792	2.500	2.500
9	1.382	1.430	1.284	1.324	1.562	2.756	1.500	2.500
10	0.666	1.396	0.622	1.302	0.561	2.729	0.500	2.500
11	3.552	1.026	3.348	0.975	4.759	1.897	4.500	1.500
12	2.739	0.955	2.719	0.996	3.663	1.855	3.500	1.500
13	2.058	0.934	1.923	0.908	2.607	1.808	2.500	1.500
14	1.236	0.852	1.160	0.813	1.565	1.711	1.500	1.500
15	0.565	0.892	0.524	0.831	0.556	1.722	0.500	1.500
16	4.083	0.282	3.900	0.281	4.686	0.933	4.500	0.500
17	3.032	0.151	2.801	0.156	3.651	0.867	3.500	0.500
18	2.061	0.079	2.032	0.088	2.583	0.799	2.500	0.500
19	1.374	0.026	1.276	0.023	1.572	0.728	1.500	0.500
20	0.659	0.027	0.601	0.034	0.594	0.692	0.500	0.500

表 2 标准样本的计算输出
Table 2 Computing output of standard sample

Sample	Naturally light computing output /mm		Computing input of naturally light and two fluorescent lamp /mm		Two incandescent lamp computing input /mm	
	1	2	1	2	1	2
1	4.499	3.506	4.495	3.504	4.504	3.502
2	3.497	3.504	3.503	3.503	3.498	3.499
3	2.502	3.503	2.504	3.501	2.496	3.499
4	1.503	3.504	1.497	3.506	1.495	3.501
5	0.497	3.501	0.493	3.501	0.497	3.500
6	4.502	2.497	4.505	2.499	4.505	2.502
7	3.503	2.498	3.504	2.498	3.496	2.502
8	2.501	2.498	2.508	2.496	2.498	2.497
9	1.504	2.496	1.503	2.497	1.499	2.503
10	0.509	2.495	0.505	2.495	0.499	2.501
11	4.497	1.504	4.497	1.507	4.503	1.502
12	3.496	1.505	3.503	1.507	3.503	1.503
13	2.502	1.502	2.496	1.506	2.494	1.498
14	1.504	1.505	1.494	1.501	1.499	1.498
15	0.502	1.503	0.496	1.504	0.499	1.500
16	4.501	0.499	4.506	0.503	4.498	0.500
17	3.501	0.497	3.499	0.497	3.498	0.499
18	2.497	0.496	2.496	0.496	2.502	0.498
19	1.501	0.497	1.502	0.495	1.504	0.498
20	0.502	0.499	0.501	0.498	0.503	0.504

6 结 论

应用基于神经网络的光点位置传感器背景光补偿方法, 不仅能有效地消除背景光的影响, 而且能在神经网络的输出端得到期望的线性输出。经神经网络补偿后的光电位置坐标传感器克服了各种背景光干扰, 提高了检测的精度和可靠性。此外, 该方法可以推广到其他受环境参数影响的传感器, 也可以用于多个环境参数影响的传感器的补偿, 只要增加神经网络输入层的神经元数量, 并把多个环境参数同时输入神经网络即可。

参 考 文 献

- 1 W. J. Wang, V. Busch. The linearity and sensitivity of lateral effect position sensitive devices—an improved geometry [J]. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 1989, **36**(11):2475~2480
- 2 Lü Aimin, Yuan Hongxing, He Anzhi *et al.*. Research of the effects of measuring conditions on PSD localization [J]. *Journal of Transducer Technology*, 1999, **18**(4):43~44
吕爱民, 袁红星, 贺安之等. 测试条件对 PSD 位置精度的影响 [J]. *传感器技术*, 1999, **18**(4):43~44
- 3 Yuan Hongxing, Lü Aimin, He Anzhi. Positon error analysis of PSD irradiated under steady background light [J]. *Journal of Transducer Technology*, 1998, **17**(5):33~36
袁红星, 吕爱民, 贺安之. 稳定背景下 PSD 的位置误差分析 [J]. *传感器技术*, 1998, **17**(5):33~36
- 4 Wang Guangzhi, Ding Haishu, Ding Hui. Light Disturbance to position sensitive detectors—pattern and methods to overcome it [J]. *Journal of Tsinghua University (Sci. & Tech.)*, 1997, **37**(1):61~64
王广志, 丁海曙, 丁辉. 位置敏感器件(PSD)的杂光干扰研究 [J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 1997, **37**(1):61~64
- 5 Yao Entao, Zhou Keyin. Application of photo-electric position detector (PSD) [J]. *Journal of Data Acquisition & Processing*, 1999, **14**(1):119~121
姚恩涛, 周克印. 光电位置探测器的环境光补偿方法的研究 [J]. *数据采集与处理*, 1999, **14**(1):119~121
- 6 Lü Aimin, Yuan Hongxing, He Anzhi. The research in the influence of beam spot on the precision of PSD [J]. *Laser Technology*, 1998, **22**(5):294~297
吕爱民, 袁红星, 贺安之. 光斑模式对 PSD 定位的研究 [J]. *激光技术*, 1998, **22**(5):294~297
- 7 Lü Aimin, Yuan Hongxing, He Anzhi. Effect of light source and background noise on the position precision of PSD [J]. *Acta Optica Sinica*, 1998, **18**(6):762~766
吕爱民, 袁红星, 贺安之. 入射光强和背景光对二维光电位置敏感器件干扰的影响 [J]. *光学学报*, 1998, **18**(6):762~766
- 8 J. R. Noriega, H. Wang. A direct adaptive neural-network control for unknown nonlinear systems and its application [J]. *IEEE Trans. Neural Networks*, 1998, **9**(1):27~34
- 9 Hou Xianglin, Chen Changzheng, Yu Heji *et al.*. Optimum method about weights and thresholds of nerve network [J]. *Journal of Northeast University*, 1999, **20**(4):447~450
侯祥林, 陈长征, 虞和济等. 神经网络权值和阈值的优化方法 [J]. *东北大学学报*, 1999, **20**(4):447~450