

采用神经网络补偿压电陀螺的零位温漂

潘英俊, 邱建勋, 刘 宇, 黎蕾蕾

(重庆大学光电技术及系统教育部重点实验室 重庆, 400044)

摘 要: 针对中低精度的压电陀螺静态零位输出随温度漂移严重的问题, 分析了产生的原因, 做了相应的实验, 提出了用 BP 神经网络进行补偿的方法。该方法具有很强的非线性映射能力, 减少压电陀螺的零位输出误差, 并且将实验结果与传统的方法的结果进行比较, 实验证明, 在不改变陀螺结构的情况下, 该方法能有效地将陀螺的静态零位温漂误差减小一个数量级以上, 从而使该类型陀螺能够应用于中高精度系统中。

关键词: 压电陀螺; 温度补偿; BP 神经网络; 建模

Abstract: In the view of serial temperature excursion of piezoelectricity gyro, we analysis the reason for temperature excursion, do the experiment, and propose the way of BP neural network to compensate the temperature excursion. This method is very functional in non-linear mapping and it could reduce the output error of piezoelectricity gyro, we compare the result with the result of traditional method, it is proved by the experiment that this method could reduce the gyro's static bias temperature output error at least 1 order even we do not change the gyro's structure, so it could apply this type of gyro to media-high accuracy system.

Key words: Piezoelectricity gyro; Temperature compensation; BP neural network; Modeling

中图分类号: TP183 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-9227(2006)04-0014-04

0 引 言

目前的陀螺种类有很多, 最早出现的是机械陀螺, 但是它的零件比较多, 结构复杂, 以后发展到压电陀螺、光纤陀螺、激光陀螺等。压电陀螺是一种固态陀螺, 它体积小、重量轻、低功耗、寿命长、可靠性高、成本低、机构简单, 可以方便组合成双轴三轴和惯性组合仪表。目前主要应用于中精度的姿态测量控制、航空航天、医疗器械、地质勘探等角运动测量系统。

经过试验测试该压电陀螺常温时效果很好, 非线性误差很小, 陀螺的输出与角速度成正比。但是, 当该压电陀螺应用于军事领域时, 对陀螺的稳定性, 精度和工作条件提出了更高的要求, 温度的要求在一40到+50℃。试验表明该中低精度的压电陀螺在常温静止时输出的值不为零, 并且随着温度的变化, 输出电压与温度之间呈现出了非线性的特征, 这给陀螺的应用带来了不便。因此, 如何标定中精度的压电陀螺的零位输出电压, 减少其误差就成了提高压电陀螺精度的关键。解决目前该问题有两种方法, 第一种是采用温控法, 也可以称为恒温法, 首先选择陀螺工作的最佳工作温度, 然后再让陀螺所处环境温度保持恒定;

第二种是采用补偿的办法, 采用数学的方法, 建立相应的温度模型, 用软件的办法来补偿压电陀螺的零位温漂。在实际的军事应用中, 往往条件非常恶劣, 很难让陀螺一直处于最佳温度, 采用加热方法也需要很长的时间, 还要采用其它的相关设备, 因此要想采用恒温法很困难。本文采用 BP 神经网络来解决上述的问题。

1 压电陀螺

1.1 压电陀螺的基本原理

压电陀螺又称为压电角速度传感器, 是一种新型的导航仪器, 多采用振梁结构形式, 结构图如图1所示。它有一根横截面近似方形的金属梁, 在梁上贴四个压电换能器, 金属梁换能器用高机电耦合系数的陶瓷材料制作。在驱动换能器上输入电信号, 借助逆压电效应使金属梁产生弯曲振动。梁内任意点的速度为 v_x , 若梁同时又以角速度 ω_z 绕 Z 轴转动, 则梁内各点将受到科氏力作用 $F = -m(z\omega_z \times v_x)$ 。这个振动通过正压电效应使读出换能器输出电信号, 信号的幅度与角速度成正比, 故可以用来确定角速度的大小。

1.2 压电陀螺的温度误差分析

陀螺的输出在常温下几乎只与角速度有关, 但是当温度范围比较宽时, 例如在军事上要求为一50~80℃

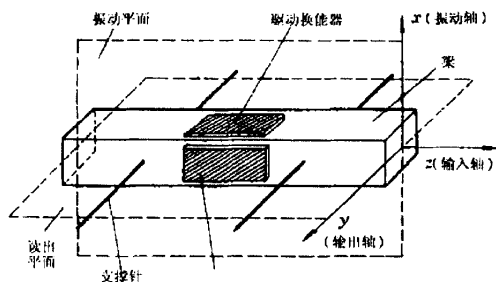


图 1 压电陀螺示意图

时候,陀螺的输出量将不只与角速度有关,而且还与温度有关,经分析,陀螺的输出与温度存在如下关系:

(1) 陀螺所处的环境温度

当陀螺所处的温度变化时,陀螺的温度也将发生相应的变化,而陀螺内部材料对温度比较敏感,因此陀螺所处环境温度的变化将引起陀螺输出量的变化。对此,我们做了相应的温度试验,将陀螺放入温控箱中,并且保持静止,温度从 -40°C 到 $+50^{\circ}\text{C}$,实验结果如图 2 所示。

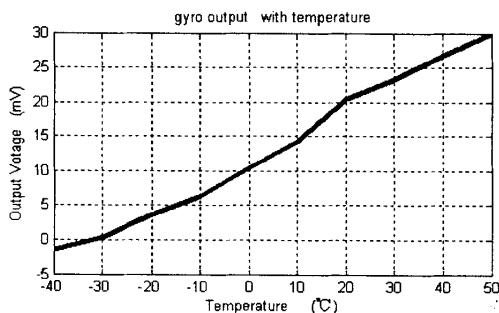


图 2 陀螺输出随温度变化曲线

从图 2 中我们可以看出当陀螺保持静止的时候,陀螺的温度的变化也将引起陀螺输出量的改变,并且这个变化的规律是非线性的,若不对其进行修正,随着时间的增加,所测定的角度误差将会增大,因此为了达到我们的精度要求,必须对陀螺的零位漂移进行补偿。

(2) 陀螺自身的温度

若陀螺所处的环境温度不改变,陀螺通电后,陀螺自身的温度也要发生变化,最后将达到一个稳定的状态,陀螺的输出量也会在通电前后输出不一样,陀螺自身的温度也是引起陀螺温漂的原因之一。对此,我们做了相应的陀螺输出随时间的变化曲线,实验结果如图 3 所示。

由图 3 可以看出,当外界的温度恒定时,陀螺的输出也会随时间的变化而变化,大概 25 分钟后达到一个稳定的值,这也就是由于陀螺通电后陀螺自身的温度变化所引起的。

对此,我们可以将陀螺稳定状态下的输出随角速度和温度漂移表示成如下关系:

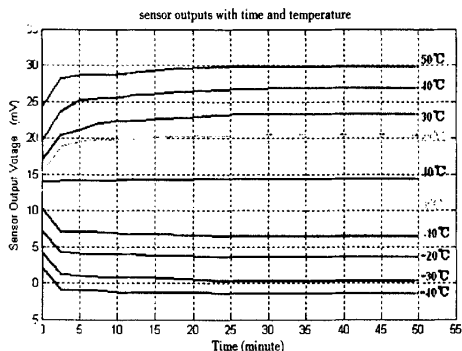


图 3 陀螺输出随时间和温度的变化曲线

$$f(T, \omega) = k\omega + F(T_0) [1 + \alpha_1 (T - T_0) + \alpha_2 (T - T_0)^2 + \alpha_3 (T - T_0)^3] \quad (1)$$

其中第一项代表陀螺随角速度的变化关系,为线性关系, k 为陀螺输出随角速度变化的系数,为一个常量, T_0 为参考温度, $F(T_0)$ 为零偏的主值, α_1 为为一阶温度系数, α_2 为为二阶温度系数, α_3 为为三阶温度系数,这里我们只保留了三阶,其它的高阶项省略。

目前,温漂补偿有两种方式,最早是采用硬件的办法来进行补偿,硬件补偿有自己的局限性,当要求比较高时,硬件补偿就再也不能满足补偿的要求。作为现代仪器,往往具有硬件和软件两个部分,在硬件不能达到的情况下,就可以通过对软件设计来进行补偿,达到相应的要求,典型的方法就是最小二乘法,这是一种数值计算方法,利用梯度变化来求最优解。软件补偿还可以采用人工智能的方法,比如神经网络,还有模糊控制等。

2 BP 神经网络的基本原理

BP 网络也称为反向传播网络(Back-Propagation Network),是将 W-H 学习规则一般化,对非线性可微分函数进行权值训练的多层网络,其权值的调整采用反向传播(Back-propagation)的学习算法,输出量为 0 到 1 之间的连续量,它可实现从输入到输出的任意的非线性映射。神经网络能较好地模拟人的形象思维,具有大规模并行处理的能力,具有良好的泛化能力,和较强的容错能力和联想能力,以及学习能力,它是一个大规模自组织自适应的非线性动力系统,因此可以采用神经网络来解决陀螺零位温漂的问题。

2.1 BP 神经网络的结构

BP 神经网络是由输入层节点、隐层节点和输出层节点组成的,网络结构如图 4 所示,该图是典型的三次 BP 网络模型,其中输入层可以是多层网络,

这里我们选用单隐层, 并且选用 tansig 型传递函数, 输出层采用 purelin 函数。

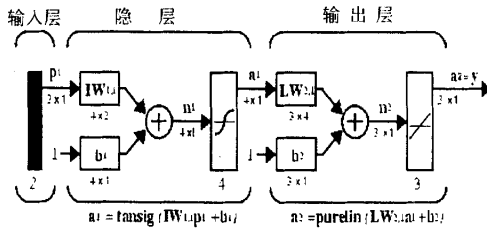


图4 神经网络结构示意图

具体的工作分为两个阶段：第一个是学习期，对大量的样本进行学习，通过学习，修改权值，最终达到一个稳定的状态。首先信息通过输入层经过隐含层然后传入到输出层，每一层的信息只会影响下一层的状态，这称为信息的正向传播。当到达输出层时，将所得的结果与预期的结果进行比较计算误差，如果得不到期望的输出，将误差信号沿原路返回，然后再修改权值，使得误差最小，这称为误差的反相传播。第二个是它的工作期，也就是利用学习期所得到的权值来直接计算输出的结果。

2.2 训练的具体步骤：

(1) 从训练样例集中取一样例，把输入信息输入到网络中，输入为 R 维的向量 (p_1, p_2, \dots, p_R) ；

(2) 由网络分别计算各层节点的输出：

隐含层节点的输出：

$$a_1 = \text{tansig}(IW_{1,1}p_1 + b_1); \quad (2)$$

输出层节点的输出：

$$a_2 = \text{pureline}(LW_{2,1}a_1 + b_2); \quad (3)$$

(3) 计算网络的实际输出与期望输出的误差：

$$E_i = 1/2 \sum (T_{\mu} - a_{2\mu})^2 \quad (4)$$

T_{μ} 为期望的输出值, E_i 为误差。

(4) 从输出层反相计算到第一隐层, 按照一定原则向减小误差方向调整网络的各个连接权值。

$$\omega_{j,k}(t+1) = h \times \omega_{j,k}(t) + \eta \times E_i \times a_j \quad (5)$$

其中 h 为动量因子, η 为学习因子,

(5) 对训练样例集中的每一个样例, 重复以上步骤, 直到对整个训练样例集的误差达到要求为止。

以上各个步骤中, 最关键的是第四步, 必须确定如何沿减小误差的方向调整连接权值。学习速度在训练的过程中一般是保持恒定的。但是, 在实际的过程中, 要找到一个合适的学习速率往往非常困难。如果学习速率过高, 可能使计算过程中出现震荡, 从而使得神经网络系统的不稳定; 如果学习的速度过低, 那么学习的时间将会增加。因此很难在学习之前决定学习速率。

实际上, 最佳的学习速率在整个过程中不是恒定

的。我们采用变化的学习速率。首先我们规定一个学习速率, 然后用新的误差和以前的误差作比较, 如果超过了原来误差的 1.05, 那么我们就忽略新的权值和偏差, 然后再将学习速率降低为原来的 70%, 否则我们将保持现在的权值。如果新的误差比原来的误差更小, 我们可增加学习的速率, 一般增加为原来的 105%, 从而实现动态地调节学习速率, 使得训练的时间大大减小, 达到最优值。

3 BP 神经网络对压电陀螺随零位漂移补偿过程及结果

针对压电陀螺零位漂移的问题, 我们建立了压电陀螺和温度传感器的零位温漂补偿模型。模型如图 5 所示, 将压电陀螺的输出和环境的温度作为输入, 利用 BP 神经网络的非线性逼近能力进行补偿。补偿以前需要让压电陀螺保持静止, 然后在不同的温度下, 利用压电陀螺的输出数据和温度作为神经网络的输入模式, 对神经网络进行训练, 使陀螺的输出电压与温度之间建立一个合理的映射。当训练完成后, 直接利用神经网络中训练所得到的数据进行补偿。

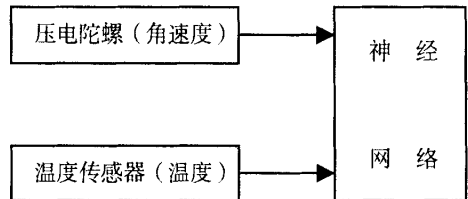


图5 压电陀螺的温度-输出电压模型示意图

以前, 中低精度的陀螺常采用数值分析的方法来解决陀螺的温漂, 最常用的是最小二乘法, 这种方法是基于梯度变化量的计算来求解最优解的, 它是一种局部的搜索技术, 容易进入局部最优, 很难达到全局最优。图 6 是利用最小二乘法拟合所得到的结果。

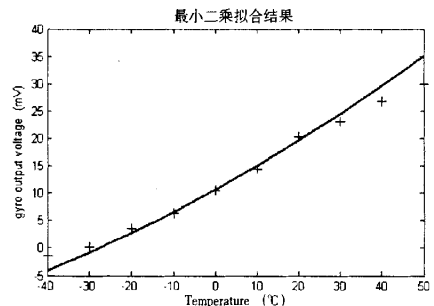


图6 数值分析方法拟合结果

通过统计得, 在没有对其做归一化处理的情况下利用最小二乘法拟合的输出误差为 40.52。现在利用 BP 神经网络进行补偿, 结果如 7 图所示。

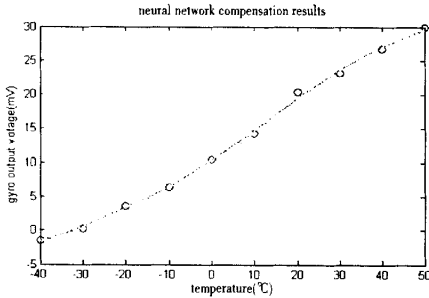


图 7 BP 神经网络补偿结果

统计结果显示:采用神经网络得到的曲线很好,其方差为 2.95,为最小二乘法方差的 7.28%。通过该软件补偿的办法,成功地减小了陀螺的输出误差,将陀螺的精度级别从中低级提高到了中高级。

4 结 论

温度对压电陀螺静态零位漂移的影响很大,并且呈现出非线性的特性,针对该问题,本文提出了 BP 神经网络的建模方法,采用自适应学习算法,提高学习速度,并且利用 tansig 函数的非线性逼近能力,通过对陀螺的输出与期望输出的误差的比较,来修正权系数,直到达到要求为止。

试验证明,该神经网络可以有效的补偿陀螺的静态零位漂移,利用神经网络训练的数据,可以将陀螺和温度传感器的数据直接输入到神经网络,然后直接输出数据。通过该神经网络模型,可以得到较高精度的仿真模型,整个过程稳定,速度比较快,最后将所得的结果与传统的最小二乘法的结果进行比较,证明

这种方法的有效性,使中低精度的陀螺经过补偿后能应用于中高精度的角运动测量系统中。

在实际应用中,采用该陀螺的实际测量数据,利用神经网络进行训练,获得了网络参数,并将其写入数字陀螺程序中,该陀螺已经成功用于某无人飞机中。

参 考 文 献

- 1 Blackwell, William J. A neural network technique for atmospheric compensation and temperature/emissivity separation using LWIR/MWIR hyperspectral data. Algorithms and Technologies for MultiSpectral. 2004, P604—615
- 2 Montalvo, Antonio J. Gyurcsik, Ronald S.; Paulos, John J. Building blocks for a temperature-compensated analog VLSI neural network with on-chip learning. Symposium on Circuits and Systems. 1994, P363—366
- 3 Weck, Manfred Herbst. Uwe Compensation of thermal errors in machine tools with a minimum number of temperature probes based on neural networks. Dynamic Systems and Control Division. 1998, P423—430
- 4 许清雷,邓正隆,张传斌. 光纤陀螺刻度因子的建模方法[J]. 光电工程, 2004 年 12 月
- 5 徐晓东,赵忠,王义,李丽锦. 基于 BP 网络的激光陀螺刻度因子的精确建模[J]. 传感器技术学报, 2005 年 6 月
- 6 马小霞,戴世荣,李汉州. 基于模糊控制的陀螺温度控制系统研究[J]. 中国惯性技术学报, 2004 年 4 月
- 7 张孝双,彭秀艳,赵希人. 基于神经网络方法的传播姿态的极短期预报与仿真[J]. 系统仿真学报, 2002 年 5 月
- 8 林康红,施惠昌. 基于神经网络的传感器非线性误差校正[J]. 传感器技术学报, 2002 年第 1 期

横河电机集团整合北京地区办事机构

横河电机株式会社(总社:日本东京武藏野市 社长:内田 勲 注册资金:323 亿 600 万日元)从 6 月 1 日起在中国北京成立综合办事机构。

新办公室位于东单金宝中心 9 层。汇集了北京地区横河集团旗下的 6 家相关公司。将这些公司在北京的销售、服务网点集中在一起,可以更加有效地综合利用人才资源,达到为客户提供更加优质服务的目的。转变一直以来按照各合资公司的产品来划分市场的销售体制,确立集市场开拓、工程能力、售后服务为一体,能够为各行业客户提供整体解决方案的综合销售体制。

这是继 2005 年 6 月横河电机在上海地区成立综合办事机构,2006 年 1 月成立新公司“横河电机(中国)商贸有限公司”之后,横河电机集团在一年之内为强化中国市场所实施的第三次大的举措。标志着该集团扩展中国市场规模的决心,并将联手在华合资企业共同努力,力争到 2010 年在中国工业控制领域的市场占有率达到 30%。

新办公室概要:

名称:金宝中心;地址:北京市东城区金宝街 89 号金宝

大厦 9 层;总面积:3400 平方米;员工人数:约 250 名

下表是所汇集的横河集团各公司办事机构业务范围:

机构名称	业务范围
横河电机(中国)商贸有限公司	综合控制系统、现场仪表销售、工程、售后服务
上海横河国际贸易有限公司	电子、通讯测量仪器仪表的销售、技术支持、售后服务
横河西仪有限公司	仪器仪表、控制系统的销售、工程、售后服务
上海横河石化自控有限公司	石化系统仪器仪表、控制系统的工程、销售、售后服务
重庆横河川仪有限公司	现场仪表(差压、压力变送器为主)销售、售后服务
上海横河电机有限公司	流量计相关产品的销售、售后服务

有关信息请咨询:横河电机(中国)商贸有限公司市场部
李燕, TEL: 021-54051919 ex. 3093, FAX: 021-54051011,
<http://www.yokogawa.com/cn/>