

# 天线伺服机械的智能创成精度\*

乔晓强 康春霞 贾建援

(西安电子科技大学, 陕西 西安 710071)

**摘要:**基于 BP 神经网络算法生成误差补偿单元, 提出一种高效、高精度的采样学习实施方法和具体算法迭代格式, 对天线伺服机械数据进行有效校正, 实现系统高精度的智能化创成。方法简单可行, 显著提高系统精度, 且降低系统造价和使用维修费用。

**关键词:**伺服机械; 神经网络; 误差补偿; 智能创成

中图分类号: TN820.3      文献标识码: A      文章编号: 1008-5300(2002)03-0050-04

## Intelligent Creation Precision of Antenna Servo Mechanism

Qiao Xiaoqiang Kang Chunxi Jia Jianyuan

(Xi'an University of Electronics Science & Technology, Xi'an 710071, China)

**Abstract:** On basis of BP Neural Net Algorithm that creates error compensation units, high efficient and high performance sampling studying method and concrete algorithm iterative format has been presented. It makes an efficient correction to antenna servo mechanism data and realizes high precision intelligent creation of system. This method is workable as well as simple, which can remarkably improve the system precision and decrease cost of system and maintenance.

**Key Words:** Servo mechanism; Neural network; Error compensation; Intelligent creation

### 1 引言

随着机电控制技术的不断提高, 对伺服机械精度的要求也越来越高。而影响伺服机械精度的因素很多, 如像轴系误差、齿隙误差、传动误差、光机电匹配误差和检测器件误差等。由于制造精度和造价所限, 这些误差已成为制约伺服机械精度的瓶颈。对一批产品来说, 由于生产制造环境因素的综合影响, 使得误差具有某种概率分布的随机变量, 但对某个指定产品, 具有确定的误差样本。因而通过建立一种确定的误差模型来补偿所有产品的误差是非常困难的, 而运用非模型化方法是可行途径。非模型化方法通过大量的实测信息掌握各具体产品的误差分布情况, 采用某种非线性映射算法对误差进行补偿, 可显著提高伺服机械精度。本文基于神经网络理论, 提出一种实现伺服机械智能创成精度的方法, 并

针对某天线伺服系统的应用实例进行了验证。

### 2 天线伺服系统及其智能创成精度

#### 2.1 天线伺服系统工作原理

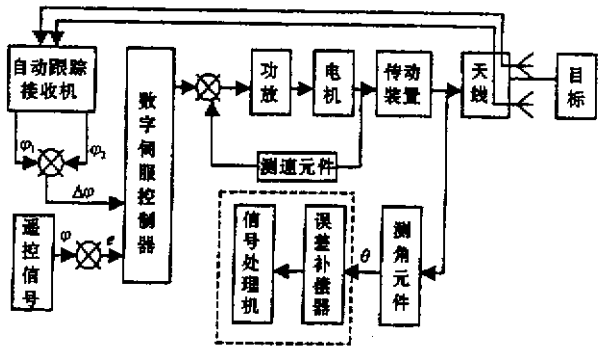


图 1 天线伺服系统工作原理框图

典型天线伺服系统工作原理框图如图 1 所示。在自动跟踪工作方式, 当控制系统驱使天线转动使

\* 收稿日期: 2001-09-21

误差信号  $\Delta\varphi \rightarrow 0$  时,经传动装置负载轴测角元件得到的角位置  $\theta$  作为目标的度量值,并提供给信号处理机,而此时的目标真值为  $\varphi$ ,因伺服机械结构及机电轴匹配等误差因素  $\theta \neq \varphi$ ,而是有一定的误差  $\varepsilon$ ,只在某个标定测量角度(归零角度)才能保证  $\varepsilon$  小于测量标定精度。

在遥控方式,当控制系统驱动天线转动使误差信号  $e \rightarrow 0$  时,测角元件给出  $\theta$  趋向于遥控设置值  $\varphi$ ,但由于误差的存在  $\theta \rightarrow \varphi$  并不能保证天线电轴角为  $\varphi$ ,只在标定角度(零位)满足标定精度要求。由于电磁波束有一定宽度,天线电轴指向目标的精确度有限。但送入信号处理机的角度信息的精度应越高越好,这是衡量产品测向定位性能的重要指标。因此,对测角元件输出角度进行补偿设置,使得补偿后的角度尽可能趋向于真值,从而提高系统精度。

## 2.2 基于神经网络的智能创成精度

智能创成精度从开发控制系统的运控能力入手,从软件的角度去解决精度问题。由于是对数字信号进行计算与控制,因而系统的精度可以达到传统天线难以达到的高精度。在本方法中主要对测角元件输出角度进行误差补偿,设置补偿器如图 1 虚线框所示。补偿后得到的角度尽可能趋向于真值,从而提高系统精度。误差补偿器是一种信息处理软件模块。它根据大量获取的检测信息来建立,因而必须具备天线伺服精度光学检测标定设施。

引起天线误差因素很多,追求误差的原因而建立误差模型非常困难,神经网络具有非线性的映射能力,因而可用于天线误差的综合补偿。系统模型辨识结构如图 2 所示:

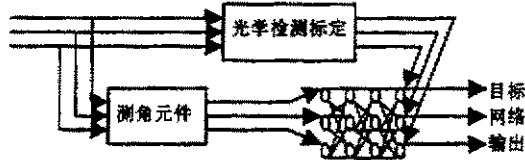


图 2 神经网络模型结构图

采用反向传播(BP)神经网络算法,将光学检测标定角度  $\Phi$  作为期望输出向量,测角元件(同步机或编码器)作为输入向量,采用 BP 算法计算得出输出值  $y$ ,经多次离线学习,形成神经网络映射关系,构成误差补偿器。以后的工作情况下只要获取测角元件的值后,经补偿器实时运算就可以得出  $y$ 。此

方法保证了  $y$  是与  $\Phi$  误差符合高精度的要求,选入信号处理机即可进行后续计算处理。

应选择合适的采样点,以保证足够的密度,才能使误差测量结果较好地符合系统误差的分布情况。但是采样点的选取也不宜过多,因为这样会增大计算量。一般来讲采取平行线截取法,保持采样点之间的距离为一定值。设由光学检测标定得出  $\Phi = [\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_m]$ ,其中  $\Phi_i$  为第  $i$  个角位置(光轴与规定零位之间的角度),可以用移动目标建立  $m$  个检测位置,亦可以使用固定目标,使天线基座转动调整零方位建立  $m$  个检测位置,可视具体条件而选择确定。

将  $\Phi$  作为遥控信号,得到相应的测角元件稳态输出角度  $\theta = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m]$ ,得出  $m$  个检测位置目标测点方位角度,其间隔以大于波束宽度为宜,可节省测试工作量。使用不同的初始偏离遥控角,可以得出一系列的检测样本向量,供 BP 神经网络方法学习使用。

## 3 神经网络 BP 算法描述

为补偿天线伺服系统的静态误差,可选择光学标定角度为期望输出,则整个网络为单输入、单输出的辨识结构网络辨识模型如图 3 所示。其中  $x_p$  为位置同步机的输出信号, $y_p$  是输出量, $y_p^*$  为期望值。

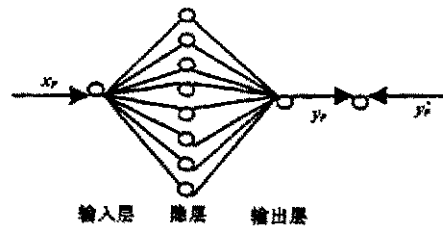


图 3 BP 网络辨识模型

选择神经网络作用函数为 S 型,训练集包括  $m$  个样本  $(x_p, y_p^*) (p=1, 2, \dots, m)$

基于 BP 神经网络算法描述很多[1],本文具体实施方法步骤如下:

- ① 取测角元件的值  $x_p$  为输入值,取光学测量所得偏移量  $\Delta y_p$  加上  $x_p$  作为期望值  $y_p^*$ ;
- ② 初始化网络,根据公式(1)

$$\text{隐层节点数} \geq \frac{\text{输入单元数} - \text{输出单元数} + 1}{\text{输入单元数} + \text{输出单元数}} \times m \quad (1)$$

确定隐层层数及各层隐节点数,并将权值  $W_{ij}$  初始化为小的随机数;

③ 归一化处理输入数据,使样本在  $[0, 1]$  之间,对第  $p$  个训练样本 ( $p=1, 2, \dots, m$ ),有:

$$O_{pj} = \frac{1}{1 + e^{-(x_p + \theta_p) Y_{\theta_0}}} \quad (2)$$

式中  $j$  代表输入节点数,本例中为 1,  $\theta_p$  可以选择  $-y_p^*$ ,  $\theta_0$  可选为期望输出  $y_p^*$ ,  $\theta_p$  是  $x_p \rightarrow \theta_p$  时,  $o_{pj}$  变化最快的区域,而  $\theta_0$  越小,  $o_{pj}$  在  $\theta_p$  处变化越剧烈;

④ 隐层和输出层的输入及其输出。对于隐层,第  $p$  个训练样本 ( $p=1, 2, \dots, m$ ),有:

$$net_{pi} = \sum_{j=1}^n W_{ij}(t) o_{pj} \quad (3)$$

$$o_{pi} = f(net_{pi}) = \frac{1}{1 + e^{-net_{pi}}} \quad (4)$$

对于输出层,有:

$$net_{pk} = \sum_{i=1}^n W_{ki}(t) o_{pi} \quad (5)$$

$$o_{pk} = f(net_{pk}) = \frac{1}{1 + e^{-net_{pk}}} \quad (6)$$

式中  $k$  是输出节点数,本例中取值为 1;

⑤ 归一化输出与物理输出的关系。由  $o_{pk} = f(net_{pk})$  的关系,得等价关系  $net_{pk} = y_p$ ,且有:

$$o_{pk} = \frac{1}{1 + e^{-(y_p + \theta_p) Y_{\theta_0}}} = \frac{1}{1 + e^{-net_{pk}}} \quad (7)$$

所以:

$$\begin{aligned} y_p &= \theta_0 \ln \frac{o_{pk}}{1 - o_{pk}} - \theta_p = y_p^* \ln \frac{o_{pk}}{1 - o_{pk}} + y_p^* \\ &= y_p^* (\ln \frac{o_{pk}}{1 - o_{pk}} + 1) \end{aligned}$$

显然,

$$\ln \frac{o_{pk}}{1 - o_{pk}} = 0 \text{ 时, } y_p - y_p^* = 0 \text{ 时,}$$

所以:

$$\frac{o_{pk}}{1 - o_{pk}} = 1 \text{ ,期望值可转换为 } o_{pk} = \frac{1}{2} = d_p \quad (d_p$$

为归一化的期望值),即  $o_{pk} = \frac{1}{2}$  等价于  $y_p = y_p^*$ ;

⑥ 判断精度,若精度满足要求,则学习停止;否则转第(7)步;

⑦ 调节权值;利用回归算法,先从输出层开始,以后返回到隐层,直到第一隐层;权值更新公式如下。

对输出层:

$$\Delta W_{ki}(t) = \frac{\eta}{m} \sum_{p=1}^m o_{pk} (1 - o_{pk}) (d_p - o_{pk}) o_{pi} \quad (8)$$

对隐层:

$$\Delta W_{ij}(t) = \frac{\eta}{m} \sum_{p=1}^m o_{pi} (1 - o_{pi}) o_{pk} (1 - o_{pk}) (d_p - o_{pk}) W_{ki} o_{pj} \quad (9)$$

对  $t=0, 1, 2, \dots$  迭代过程,惯性修正公式则为:

对输出层:

$$\begin{aligned} W_{ki}(t+1) &= W_{ki}(t) + \Delta W_{ki}(t) \\ &\quad + \alpha [W_{ki}(t) - W_{ki}(t-1)] \end{aligned} \quad (10)$$

对隐层:

$$\begin{aligned} W_{ij}(t+1) &= W_{ij}(t) + \Delta W_{ij}(t) + \alpha [W_{ij}(t) \\ &\quad - W_{ij}(t-1)] \end{aligned} \quad (11)$$

当时  $t=0$ , 定义  $W_{ki}(-1)=0$ ,  $W_{ij}(-1)=0$ ,  $\alpha=0$ , 作为迭代格式的起步。

式中,  $\eta$  为学习因子,影响网络的收敛速度,而  $\alpha$  为势态因子,它决定上一次学习权值对本次权值更新的影响程度。权值更新完后转第(4)步。

BP 算法网络训练结束后,制成现场编程芯片,即可生成误差补偿单元。在实际的在线工作中,测角元件的值  $x$  不会就是学习时的样本值,而是处于两个样本值  $x_p$  与  $x_{p+1}$  之间,因此要对其进行线性插值以求得  $y^*$ 。

即有:

$$\text{当 } x_p < x < x_{p+1} \text{ 时, } \frac{y_{p+1}^* - y_p^*}{x_{p+1} - x_p} = \frac{y^* - y_p^*}{x - x_p}$$

所以:

$$y^* = \frac{y_{p+1}^* - y_p^*}{x_{p+1} - x_p} (x - x_p) + y_p^* \quad (12)$$

将  $x$  与  $y^*$  输入误差补偿单元即可。

## 4 某天线伺服机械应用实例

天线伺服机械在长期使用后精度会下降,尽管引起精度下降的因素有很多,如:磨损、材料热处理时效不够、装配松动等原因,但只要在大修期内重新

进行离线学习,更新误差补偿单元,以使天线保持较高的精度。

以某天线方位伺服机械系统的大修为例,对提高精度的应用效果给出数值结果。对天线进行实测,间隔角度为 $30^\circ$ ,以阶跃信号进行测量,方位一周 $360^\circ$ 取12个测试位置。得12个输入样本( $x_p, y_p^*$ ) ( $p=1, 2, 3, \dots, 12$ )。如图3的网络结构。学

习因子 $\eta$ 选为0.6,势态因子 $\alpha$ 为0.9。

图4(a)为补偿前误差样本图,图4(b)为补偿后的误差曲线图。其中带\*号的为采样点。横坐标 $x$ 标为测角元件所测值,纵坐标 $\Delta y$ 为光学仪器测定的误差偏移量。从图中可看出其补偿效果是相当理想的。

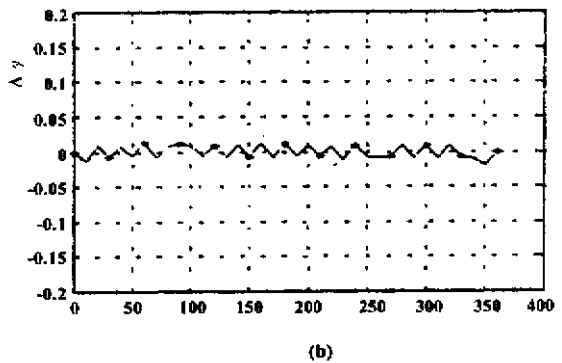
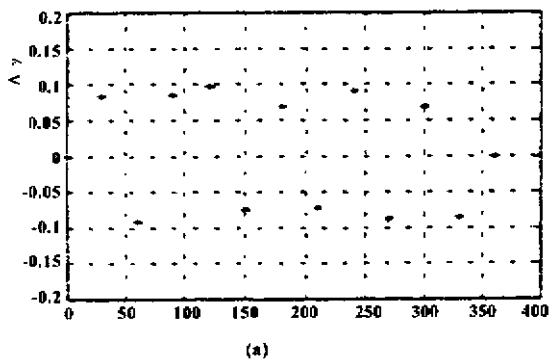


图4 实验误差曲线(a为补偿前,b为补偿后)

## 5 结束语

经对本文提出的天线伺服机械精度智能创成方法研究,可得出以下评价结论:

(1) 精度智能创成的方法是可行的,可显著提高天线的定位精度及跟踪精度,降低了精密机械制造成本;

(2) 方法简单可行,特别适合单件、小批量产品的生产和维修;

(3) 隐层节点数目的选取不仅对计算速度有很大影响,而且对收敛精度也有很大影响。点数过大实时性不好,点数过少,精度和收敛速度变差。经计算,本文给出的点数构造经验公式是合理的;

(4) 必须对 $n$ 个样本全部进行正向传播后,再进行反向传播,去更新权值 $W$ 的值,这样大大减少了计算时间;

(5) 本文采用的归一化方法,将输出期望值归

一化为0.5,显著地提高了神经网络的迭代速度。例如按本文所用方法,网络迭代次数为81次;而按一般的迭代方法[2],迭代次数均在千次以上。

## 参考文献

- 1 王顺晃,舒迪前. 智能控制系统及其应用. 北京:机械工业出版社,1995
- 2 刘军华编著. 智能传感器系统. 西安:西安电子科技大学出版社,1999

作者简介:乔晓强,男,西电机电工程学院硕士研究生,主研方向为机电一体化。

康春霞,女,西电机电工程学院工程师,主研方向为机械力

贾建援,男,西电机电工程学院院长,从事机电一体化与微电子机械方面的研究。

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com)),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果,又能免除您舟车劳顿的辛苦,学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲,结合实际工程案例,直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>