

# 无人旋转翼飞机系统的神经网络控制

徐霞<sup>1,2</sup>, 陈文兵<sup>1,2</sup>, 葛运建<sup>1</sup>

(1. 中国科学院合肥智能所机器人实验室, 合肥 230009; 2. 中国科学技术大学自动化系, 合肥 230031)

**摘要:**针对无人旋转翼飞机系统的不稳定及其强耦合的特点,提出了用两个神经网络来实现对系统控制。其中一个神经网络用来完成系统的不稳定性到稳定性的转化;第二个网络作为飞机系统的逆系统来实现对飞机系统的控制。用Matlab进行仿真的结果,证明了这一控制方法的正确性。

**关键词:**无人旋转翼飞机;控制网络;反馈网络

**中图分类号:**TP183 **文献标志码:**A

## Neural Network Control of Nobody Rotary Wing Aircraft System

XU Xia<sup>1,2</sup>, CHEN Wen-bing<sup>1,2</sup>, GE Yun-jian<sup>1</sup>

(1. Robot Laboratory of Institute of Intelligent Machine, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230009, China; 2. Department of Automation, University of Science and Technology of China, Hefei 230031, China)

**Abstract:** According to the character of the instability and the well-coupling for the unmanned helicopter, we introduce how to control the system with two neural network. One of them is used to make the system transform from instability to steady, the other, which is taken as the anti-system is to control the system of the aircraft. At the Matlab platform, it is proved that this control method is correct by simulation.

**Key words:** nobody rotary wing aircraft; controlling network; feedback network

近年来,随着无人旋转翼飞机在各个领域的广泛应用,控制飞行状态问题成为研究的重点。无人旋转翼飞机是一个非线性、强耦合、不稳定的复杂系统,很难用简单方法实现有效控制。例如:应用成熟的简单PID控制方法不能控制具有耦合性的复杂系统<sup>[1]</sup>,只能结合其他的控制方法来完成对飞机系统的控制<sup>[2]</sup>;鲁棒控制方法不能有效地控制高阶系统和求逆系统;采用传统的先训练后应用的神经网络控制方法,很难实现对飞机准确性控制<sup>[3]</sup>。

本文充分利用神经网络可以准确控制复杂系统的特点,采用两个神经网络来实现对无人旋转翼飞

机系统的控制;一个为反馈网络,一个为控制网络。反馈神经网络选用附加动量法、梯度下降法和误差反向传播法相结合的在线学习算法,用于调节无人旋转翼飞机系统,实现使系统从不稳定到稳定性的转变。控制网络选用改进型的BP网络,用于实现对无人旋转翼飞机系统的控制。

### 1 无人旋转翼飞机系统模型

无人直升机具有多种飞行模式,且由于飞行模式的不同,作用在直升机上的力和力矩是不同的,导致直升机的模型参数的变化<sup>[4]</sup>。所以在研究直升机

收稿日期:2007-05-23;修订日期:2007-12-17

作者简介:徐霞(1981-),女,硕士,研究方向为机器人控制;葛运建(1947-),男,研究员,教授,研究方向为机器人控制。

的数学模型时,一般的做法是根据具体的飞行任务,选择合适的系统模型。在参考了相关文献<sup>[1]</sup>的前提下,本文采用了具有4个输入变量、11个输出变量的模型作为飞机的控制系统模型,其传递函数及其状态方程如下<sup>[1,2]</sup>:

输入:  $\bar{u}=[\delta_{lat} \delta_{lon} \delta_{ped} \delta_{col}]$

输出:  $\bar{x}=[u \ v \ p \ q \ \Phi \ Q \ a_{1s} \ b_{1s} \ \omega \ r \ r_n]$

系统矩阵(传递函数矩阵)为

$$F = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_2 & a_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_4 & 0 & 0 & a_5 & 0 & 0 & a_6 & 0 & 0 & 0 \\ a_7 & a_8 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_9 & a_1 & 0 & 0 & 0 \\ b_1 & b_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & b_3 & b_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & b_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & b_7 & 0 & 0 & b_8 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b_9 & 0 & 0 & 0 & b_{10} & c_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_2 & c_3 & c_4 & c_5 & 0 \\ 0 & 0 & c_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_7 & c_8 & c_9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_{10} & d \end{bmatrix}$$

输入矩阵为

$$G = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_1 & k_2 & 0 & 0 \\ k_3 & k_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_5 \\ 0 & 0 & k_6 & k_7 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

飞机的状态方程为  $\bar{x}'=F \times \bar{x}+G \times \bar{u}$

## 2 神经网络控制系统的设计

无人旋转翼飞机系统是一个多输入多输出、参数之间存在强耦合的不稳定系统<sup>[1,4,6]</sup>。当用神经网络来实现对它的控制时,首先遇到的问题是:飞机系统的不稳定问题。神经网络不能很好地控制不稳定系统,因此要对无人旋转翼飞机系统作稳定性转化,方法为给无人旋转翼飞机系统加一个反馈回路,反馈系数为K,无人旋转翼飞机系统是4输入11输出的系统,即:反馈系数K是一个4×11的矩阵,但多维矩阵参数很难准确性调节<sup>[7,9,10]</sup>。因此,为更快、更准确地调节反馈回路的反馈系数,本文采用神经网络代替通常的反馈回路。

网络代替通常的反馈回路。

在设计反馈神经网络过程中,最关键的问题是网络算法和参数的确定。无人旋转翼飞机系统是一个不稳定的系统,得不到若干组稳定的输入输出数据对,所以与飞机系统形成反馈回路的神经网络采用在线学习的方法。网络结构为:输入节点  $x_1$  的个数为11个;输出节点  $y_1$  的个数为4个;没有隐含层。学习方法为附加动量法、梯度下降法和误差反向传播相结合算法。

在带有反馈回路的飞机系统达到稳定的基础上,使用另一个神经网络来控制这个系统。对飞机进行控制的神经网络是作为飞机系统和反馈网络组成的整个稳定系统的逆模型设计的。采用了改进型的BP网络结构,具体参数为:输入节点  $x_2$  的个数为11个;输出节点  $y_2$  的个数为4个;具有一个隐含层;采用 Levenberg-Marquardt 算法训练网络。

神经网络控制飞机系统的结构框图如下。

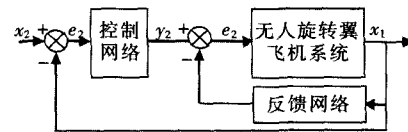


图1 无人旋转翼飞机系统的控制图  
Fig.1 Chart of nobody rotary wing aircraft system

## 3 系统仿真及其结果

采用 Matlab 对上述无人旋转翼飞机神经网络控制系统进行仿真,反馈网络采用在线学习的方法,选用一层网络结构。反馈网络的输入对应飞机的输出,为11个节点,网络的输出对应飞机的输入,为4个节点,传递函数选用的是对数S型函数;学习速率设为0.08;动量设为0.8;学习的最大步数设为100步;学习算法选用附加动量法、梯度下降法和误差反向传播法相结合的算法。

控制网络有11个输入节点和4个输出节点,在反复训练之后确定隐含层的个数为19个;传递函数分别为S型函数和线性函数;学习速率设为0.05,学习速率的递增因子设为1.021,递减因子设为0.440;训练的最大步数为1000;使用的网络训练方法为 Levenberg-Marquardt 算法。

仿真过程中的误差  $e_1$  和  $e_2$  的平方和公式如下:

$$e_1^2 = \sum_{i=1}^4 (y_2(i)) - y_1(i))^2$$

$$e_2(i)^2 = \sum_{j=1}^{100} (x(i,j) - x_1(i,j))^2$$

试验结果如图 2、图 3 所示(SSE 表示误差平方和)

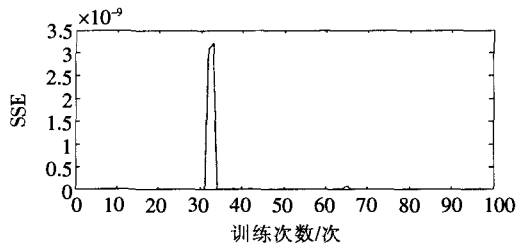


图 2 误差  $e_1$  的平方和曲线

Fig.2 Curve of square of error  $e_1$

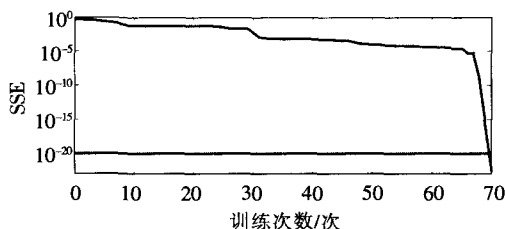
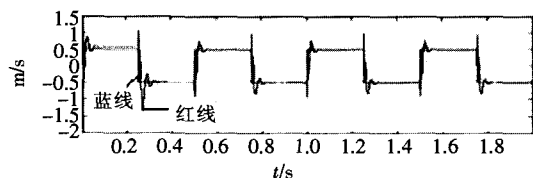


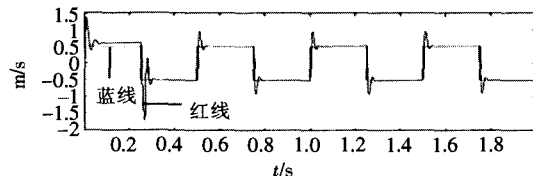
图 3 误差  $e_2$  的平方和曲线

Fig.3 Curve of square of error  $e_2$

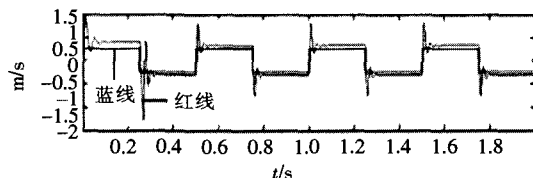
最后要对这个系统进行验证: 选用了矩形波信号(蓝线)作为输入  $x_2$ , 得到的跟踪信号即飞机的输出信号如图 4 的 a, b, c 所示。由于飞机系统总共有 11 个输出, 为简洁起见, 文中给出了输出  $u_1, v_1, w_1$  的跟踪结果, 其中图 a, b, c 中蓝线分别代表输入矩形波  $u_2, v_2, w_2$ , 红线为输出  $u_1, v_1, w_1$ 。



(a) 信号  $u$  的跟踪信号



(b) 信号  $v$  的跟踪信号



(c) 信号  $w$  的跟踪信号

图 4 输出的跟踪信号

Fig.4 Tracking signal being output

## 4 结语

文中在比较了目前流行的两种控制方法优缺点的基础上, 提出了一种基于神经网络的飞机控制方法。由于无人旋转翼飞机系统是一个不稳定的系统, 用传统的神经网络控制方法, 即: 先训练后应用的方法, 不能实现对飞机准确性控制。因此, 本文充分利用神经网络可以准确控制复杂系统的特点, 采用两个神经网络来实现对无人旋转翼飞机系统的控制: 一个为反馈网络, 一个为控制网络。反馈神经网络用于调节无人旋转翼飞机系统从不稳定到稳定性的转变; 控制网络用于采用带反馈的神经网络实现对无人旋转翼飞机系统的控制。这种控制方法控制思路比较清晰, 控制精度很高。最后应用 Matlab 工具箱对这一控制方法进行仿真, 证明了这一控制方法的正确性。

### 参考文献:

- [1] Bernard Mettler, Mark B Tischler, Takeo Kanade. System identification of small-size unmanned helicopter dynamics [C]// American Helicopter Society 55th Forum, Montreal, Quebec, Canada, 1999: 25-27.
- [2] Seiji Hashimoto, Tomonori Ogawawa, Shuichi Adachi, Anzhong Tan, Gou Miyamori. System identification experiments on a large-scale unmanned helicopter for autonomous flight [C]// Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Control Application Anchorage, Alaska, USA, September, 2000: 25-27.
- [3] 沈毅. 无人直升机的动态逆模糊集成控制[J]. 北京航空航天大学学报, 2003, 29: 1133-1135.
- [4] 吴蕾. 一种无人直升机的导航与控制[J]. 飞行设计, 2004, 3(1): 60-65.
- [5] 王辉. 基于神经网络的无人直升机姿态控制系统设计[J]. 航天学报, 2005, 26(6): 670-673.
- [6] 曾丽兰. 无人驾驶直升机飞行控制技术综述 [J]. 控制与决策, 2006, 21(4): 361-365.
- [7] 马静. 无人机涡喷发动机的神经网络自适应 PID 控制[J]. 推进技术, 2003, 24(6): 516-520.
- [8] 李化良. 模糊 PD 在飞机全刹车系统中的应用[J]. 航空计算技术, 2005, 38(4): 15-18.
- [9] 唐永哲. 飞机航向神经网络 PID 参数自整定控制器研究[J]. 飞机设计, 2004(2): 47-50.
- [10] 杜海峰. 飞机动力模拟系统的模糊神经网络控制研究[J]. 系统仿真学报, 2002, 14(4): 506-508.