

二自由度平面机械手的神经网络建模与实时控制

李小春, 朱双鹤

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:目前正在兴起和发展的人工智能及人工神经网络的研究为复杂的非线性系统的控制开辟了一条新路。本文采用一种改进的BP算法用于二自由度平面机械手系统的建模,取得了很好的实时控制仿真效果。

关键词:BP神经网络;二自由度平面机械手;建模;实时控制

中图分类号:TP13 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2000)04-0042-03

1 二自由度平面机械手的数学模型

1.1 机械手的动力学一般模型^[1]为:

$$T_{(t)} = I_{(\theta,t)}\ddot{\theta}_{(t)} + H_{(\theta,\dot{\theta},t)}\dot{\theta}_{(t)} + B\theta_{(t)} + G_{(\theta,t)}$$

式中: $\theta_{(t)}$, $\dot{\theta}_{(t)}$, $\ddot{\theta}_{(t)}$ 分别是关节的位置、速度和加速度向量

I 是 $n \times n$ 阶同惯性力有关的矩阵

$H(\theta, \dot{\theta}, t)$ 是 $n \times 1$ 阶同向心力和离心力有关的向量

B 是 $n \times n$ 阶内摩擦对角阵

G 是 $n \times 1$ 阶与重力有关的向量

$T_{(t)}$ 是 $n \times 1$ 阶驱动力或力矩向量

n 是操作手的自由度

1.2 二自由度平面机械手的动力学方程

由于平时所遇到的问题,如机器人手臂等的控制问题多属于二自由度问题,为研究方便,基于上面机械手的动力学方程,采用非线性模型线性化的方法,可将二自由度平面机械手的动力学方程表示如下:

$$T_1 = (a_{11} + a_{12}C_2)\ddot{\theta}_1 + (a_{13} + a_{14}C_1)\ddot{\theta}_2 + a_{15}S_{21}\dot{\theta}_1\dot{\theta}_2 + a_{16}S_2\theta_2^2 + a_{17}\theta_1 + a_{18}S_2 + a_{19}S_{12}$$

$$T_2 = (a_{21} + a_{22}C_2)\ddot{\theta}_1 + a_{23}\ddot{\theta}_2 + a_{24}S_2\theta_1^2 + a_{25}\theta_2 + a_{26}S_{12}$$

其中: $c_i = \cos\theta_i$, $S_i = \sin\theta_i$, $S_{ij} = \sin(\theta_i + \theta_j)$

a_{ij} 是要求的加权常数,基值与 L_j 和 m_j 有关(L_j 是机械臂的长度, m_j 是机械臂的质量),二自由度平面机械手的模型如图 1 所示:

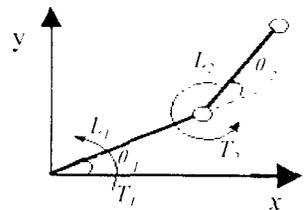


图 1 二自由度平面机械手

2 改进的 BP 神经网络学习算法

2.1 BP 神经网络及 BP 算法

BP神经网络是一种前馈神经网络,所采用的隐层传递函数均是可微的单调递增函数,可以实现从输入到输出的任意非线性映射。基于BP网络这种特点,它非常适合于非线性系统的控制。但BP算法本身采用的

梯度法由于存在收敛速度慢、收敛于局部极小、稳定性差等缺点,使得这种网络使用起来有很大的局限性。

2.2 BP 神经网络算法的改进

为了克服 BP 算法的缺点,本文采用差商近似代替导数的 Powell 法:该法与 Levenberg Marquardt^[2]算法大致相同,只是用点 $X^{(k)}$ 处的差商近似代替导数。

应用这种改进的 BP 算法在对二阶线性系统 $G(s) = \frac{\omega}{(s+a)^2 + \omega^2}$ 的动态建模中,平均迭代约 5 000 次,就可稳定地收敛达到 10^{-8} 的精度,这是任何其它 BP 算法无法比拟的。仿真实验表明此改进算法是一种高效、快速的学习算法,而且稳定性很好。

3 建模结构

3.1 控制结构原理

采用上述改进的 BP 神经网络控制的机械手系统框图如图 2 示。

这种控制结构的特点是:此控制器采用反向误差学习法。为了得到由于神经网络控制器与对象的逆动力学不等而带来的控制指令的误差,本文采用了一个反馈控制器,用对象的期望输出与实际输出之差进行估计。估计的结果输出除了作为误差信号训练已有的神经网络控制器外,还作为反馈控制信号与神经网络控制器的控制信号加在一起进行控制。这样就构成了一个前馈加反馈的控制系统。

神经网络控制器是前馈控制器,目的是加快控制速度。反馈控制器的优点是可以使系统保持在稳定状态下,实现无静差控制。该控制系统的一个优点是可以对冗余机械手等冗余对象进行控制。

3.2 控制过程

每个控制周期中,由轨迹规划器产生一个理想的状态 $\theta_{i(t)}, \theta_{\dot{i}(t)}, \theta_{\ddot{i}(t)}$,而系统的实际输出状态为 $\theta_{o(t)}, \theta_{\dot{o}(t)}, \theta_{\ddot{o}(t)}$,由 $\theta_{o(t)}, \theta_{\dot{o}(t)}, \theta_{\ddot{o}(t)}$ 和 $\theta_{i(t)}, \theta_{\dot{i}(t)}, \theta_{\ddot{i}(t)}$ 之间的误差 $\epsilon(t)$ 经反馈控制器产生误差驱动力矩 T' ,根据系统的即时状态 $\theta_{o(t)}, \theta_{\dot{o}(t)}, \theta_{\ddot{o}(t)}$,以及下一个控制周期中系统的理想状态 $\theta_{i(t)}, \theta_{\dot{i}(t)}, \theta_{\ddot{i}(t)}$,轨迹规划器划出系统的期望系统 $\theta_{d(t)}, \theta_{\dot{d}(t)}, \theta_{\ddot{d}(t)}$,作为神经网络输入。经过几次学习后,机械手的运动很快就与要求的轨迹一致,因而学习完成后力矩 T 完全是由 T_d 来控制。

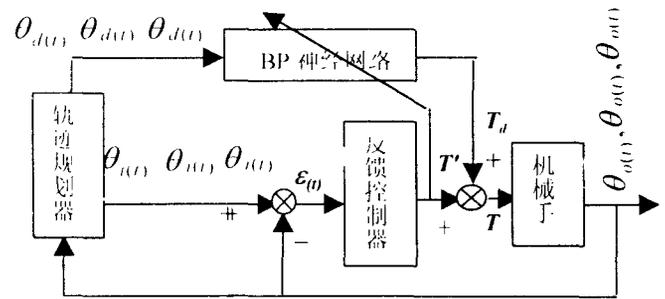


图 2 控制结构框图

4 模拟实验结果

该机械手采用反馈误差学习法可以产生很小的追踪误差,因而有助于产生小的参数误差。从表 1 可以看出,此学习算法求得的 a_{ij} 项同真实值十分接近。在仿真过程中发现,采用相同的真值进行了五次仿真,每次都是不同的随机权值,其中有四次结果是相同的,其值与表 1 中的数值一致,另一次偏差也很小;而且五次迭代的步数分别为 125, 147, 190, 297, 321, 终止误差均为 10^{-3} (这样的速度是任何 BP 算法都无法实现的)。这说明采用改进的 BP 学习算法,不仅收敛速度大大提高,而且系统更稳定,从而使实时控制的效果得到了很大的改善。

表 1 学习算法模拟的性能结果

权	真值	估计值
a_{11}	30.0	29.52
a_{21}	10.0	10.05
a_{12}	20.0	19.23
a_{22}	10.0	10.10
a_{13}	10.0	9.78
a_{23}	10.0	10.12
a_{14}	10.0	9.44
a_{24}	10.0	10.23
a_{15}	-20.0	-19.30
a_{25}	5.0	5.03
a_{16}	-10.0	-9.97
a_{26}	98.1	98.20
a_{17}	5.0	4.61
a_{18}	196.0	196.19
a_{19}	98.0	98.20

5 机械手的实时控制系统示例

图3所示机械手实时控制系统的状态信息由视觉摄像机实时摄取,通过必要的预处理和特征提取后得到机械手的位置、速度、加速度信息。

采用BP神经网络还利用了与实时控制时的加速度(即作用力)之差,这是一个典型的监督神经网络控制(SNC),当这个差很小时,切换开关可切换到神经网络自动控制器。

另外此控制系统采用记分学习系统(GLN),在有噪声干扰下较之无噪声时更少地利用了加速度信息,说明了神经网络的智能选择作用。

最后,该系统的一个优点就是利用视觉摄像机充当传感器。它可代替一直处于运动中而易损坏的位置、速度、加速度传感器。这对于恶劣环境中机器人的控制是十分有用的。

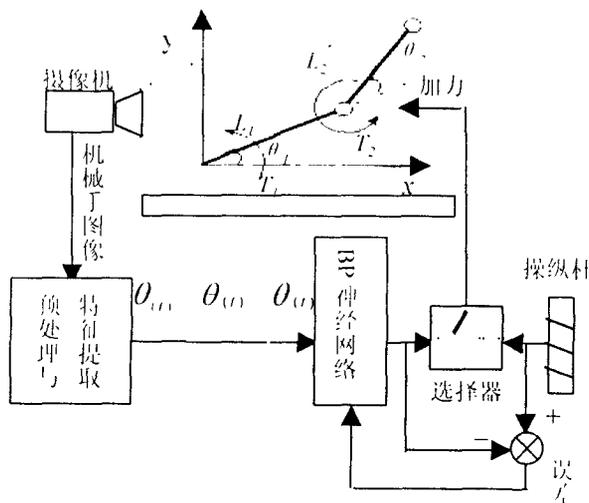


图3 实时控制系统

6 结束语

机械手的控制问题是机器人控制的关键问题之一。本文模拟结果显示小的追踪误差可以产生小的参数认知错误,同时由于BP神经网络自身采用的新算法最终使得不仅该控制器性能得到了很大的改善,而且控制速度大大提高。

参考文献:

- [1] Chen Y C, Teng C C. A model reference control structure using a fuzzy neural network. Fuzzy Sets and systems[J]. IEEE Trans Fuzzy Syst, 1995, 73(3):291-312.
- [2] 徐春辉,徐向东. 前馈型神经网络新学习算法的研究[J]. 清华大学学报,1999,39(3):1-3.
- [3] 胡守仁. 神经网络应用技术[M]. 长沙:国防科技大学出版社,1995.
- [4] 张乃尧,阎平凡. 神经网络与模糊控制[M]. 北京:清华大学出版社,1999.

Modeling and Real-time Controlling of Neural Network for Plane Manipulator Having Two Free Degree

LI Xiao-chun, ZHU Shuang-he

(The Telecommunication Engineering Institute, AFEU., Xi'an 710077, China)

Abstract: The research on artificial intelligence and artificial neural networks, which is rising and developing presently, opens up a new way for controlling of complex non-linear system. We establish a model for plane manipulator having two free degree by using a kind of improved BP algorithm and the simulation results show the best effect of real-time controlling.

Key words: BP neural network; plane manipulator having two free degree; modeling; real-time controlling