

LRNN 神经网络与 DSP 结合实现精确测温

谭 昊^① 陈亚珠^②

摘 要 本文阐述了采用局部反馈神经网络(LRNN)通过 DSP 芯片实现精确测温的原理和方法,对 LRNN 网络的原理和学习算法提出了新的看法和观点,首次将 LRNN 网络用于嵌入式的芯片,消除了由于硬件和 A/D 转换所带来的非线性误差。最后给出了该方法在智能化胃肠灌注系统中所得到的结果,表明采用该方法后可以使非线性误差减少到接近于零。

关键词 局部反馈神经网络 DSP 非线性误差

一、前言

在控制系统中,对被控制量的测量是控制的前提和基础。而且现行的控制系统一般都是将被控制量经过数模转换后再通过数字系统来对模拟量进行控制,这样整个系统的抗干扰性能就比较高。该类系统的框图如图 1 所示。

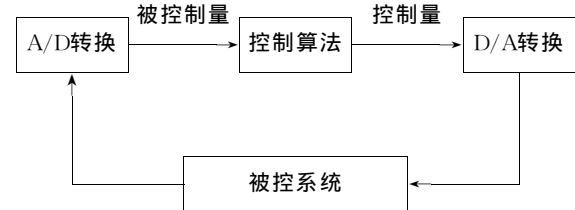


图1 反馈控制系统基本框图

本文要阐述的方法就是在这种系统中通过 DSP 芯片和神经网络相结合来消除由于 A/D 转换和其他硬件所引起的误差。如在测温系统中,测温芯片本身由于温度的影响会使输出电压值产生一定的偏移。这些误差的产生是不可避免的,并且也不易从理论上进行估算和消除,所以考虑采用神经网络通过事先的数据训练来构造一个校正函数。LRNN 网络是一个将滤波器和神经网络相结合的新型网络,它可将非线性误差减少到近似为零。采用了这种网络进行试验后,得到了满意的结果。下面将详细的介绍 LRNN 神经网络的结构特点和优点,然后将这种神经网络与 DSP 系统相结合的一个具体实例。

二、LRNN 神经网络

一个普通的神经网络通常可以看作是将一个输入向量经

过非线性映射到一个输出向量的结构,如 MLP。通常我们可以通过 LMS 方法来训练这种类型的网络。近几年来,随着人们对神经网络的深入研究,一部分学者在将神经网络运用到系统辨识和动态控制中取得了较大的进展。一种新型的神经网络结构引起了大家的注意,这就是介于前馈多层感知结构和完全回归网络之间的 LRNN 神经网络。它将 FIR 或者 IIR 滤波器与 MLP 紧密的结合在一起,所以同时拥有了局部的回归特性和全局的前馈结构。

1. LRNN 的网络结构

LRNN 是一个时域上离散的网络结构,一个神经元中只包含第 k 层网络和第 $(k+1)$ 层网络的连接。一个典型的 LRNN 网络结构如图 2 所示。

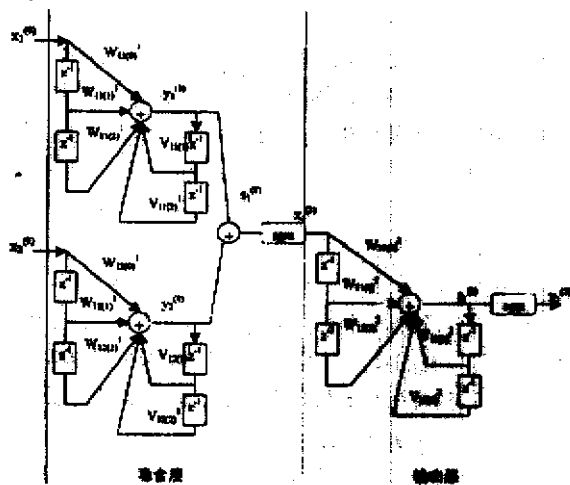


图2 LRNN 神经网络模型示例

上图中的符号意义描述如下:

$x_n^{(k)}$ 为第 k 层第 n 个神经元的输出, $k=0$ 时即为系统的输入; $W_{n,m}^{(k)}$ 为 FIR 滤波器部分系数; $V_{n,m}^{(k)}$ 为 IIR 滤波器部分的系数; sgm 为激活函数; $y_n^{(k)}$ 为第 k 层第 n 个神经元滤波器的输出; $s_n^{(k)}$ 为第 k 层第 n 个神经元激活函数的输入。该网络的前馈算法如下:

$$y_{n,m}^k(t) = \sum_{p=0}^{L_{n,m}^k} w_{n,m(p)}^k * x_{n,m}^{k-1}(t-P) + \sum_{p=1}^{I_{n,m}^k} v_{n,m(p)}^k * y_{n,m}^k(t-P)$$

$$s_n^k(t) = \sum_{m=0}^{N_{k-1}} y_{n,m}^k(t) x_n^k(t) = sgm[s_n^k(t)]$$

① 谭 昊 上海交通大学医学仪器研究所 硕士研究生 上海 200030
② 陈亚珠 上海交通大学医学仪器研究所 教授 博士生导师 中国工程院院士 上海 200030

有关 LRNN 网络的学习算法在文献[1]中有详细的叙述!

2. LRNN 的特性

从图 2 可以看到 LRNN 网络实际上就是将滤波器加入到了神经网络当中,所以神经网络具有了局部反馈的特性。这种网络结构决定了 LRNN 神经网络具有如下性质:

- 1) 神经元之间丰富的连接方式,多层网络之间有效的级联;
- 2) 采用动态神经元结构减少了解决问题时所需的神经元数目;
- 3) 将 FIR-MLP 的中的有限的时延数目推广到了无限;
- 4) 较全反馈神经网络简便的训练算法,而且可以从滤波器理论中得到新的训练算法

三、基于 DSP 控制系统中 LRNN 网络的应用

胃肠灌注系统是一个基于温度的控制系统,系统的模拟输入是 6 个温度变量,这些温度值由热电偶采集,A/D 转换后送到控制芯片,由芯片对温度进行反馈控制。该系统将温度为 43 度左右的药液直接灌注到癌症病人的病患部位,从而直接杀死癌细胞。治疗过程中的温度控制是最重要的环节之一,因为药液发挥最大效应的前提就是将其温度保持在 43 摄氏度,这个温度将使癌细胞迅速死亡。

采用 LRNN 网络的目的在于消除由于环境温度和 A/D 转换的原因引起的误差。我们从示波器上可以看到温度信号在没有经过 A/D 转换前并不是一个纯直流信号,这就是硬件引起的误差。由于 LF2407 的 A/D 转换时间很快(500ns),而且可以在一个采样周期内对同一个端口进行多达 16 次采样,所以我们可以芯片内用 LRNN 网络对 A/D 变换后的数据进行预处理,这样的得到的数据仍然能满足实时处理的要求。

1. 没有经过预处理的温度数据

我们先看没有经过 LRNN 处理的数据。如图 3 所示:

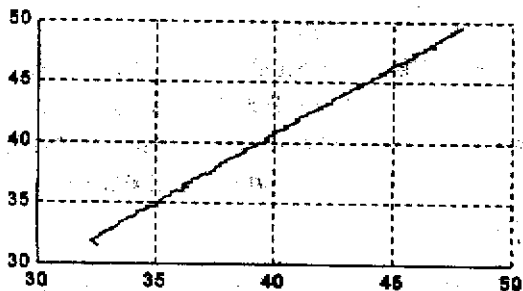


图 3 未经处理的温度数据

图中横坐标是未经处理的 A/D 转换后的温度值,纵坐标是用一个准确的测温仪器标定的温度值。我们可以看到在 35 到 40 度之间温度的对应关系较好,但是从 40 度到 50 度之间

的数据有少许偏差;整个测温区间内最大误差达到 1.8 度,平均误差为 0.56 度。显然这种偏差并不是线性的,在有些点上,温度并非一一对应,所以我们想到把所得到的温度看成一个时间序列,用 LRNN 对之进行校正。网络的输入即为未经处理的温度数据,理想输出为准确的测温仪测出的温度值。下面是经过 LRNN 处理的数据。

2. 用 LRNN 网络处理后的温度数据

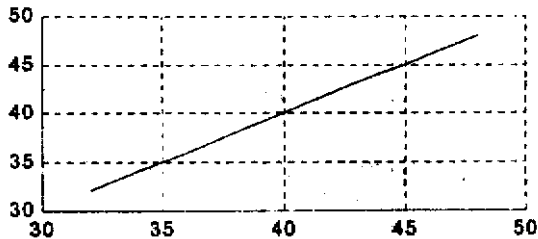


图 4 用 LRNN 网络校正后的温度数据

从图 4 可以看出经过处理后的数据基本上没有了非线性误差,整个测温区间内的最大误差减小到了 0.05 度,平均误差 0.01 度。我们对 LRNN 的作用进行分析如下,首先,因为温度的变化是一个连续的过程,所以将它看成一个时间序列来处理是完全合理的;同时 LRNN 网络前端的 IIR 滤波器可以对数据进行低通滤波,从而去除一定的干扰;最后,神经网络通过学习和自适用能够找到一个最佳的匹配函数使输入向量和目标向量的距离最小。这样经过预处理的数据的误差就基本上消除了。

四、结语

LRNN 网络在数据预测,非线性误差校正以及自动控制等方面都很有应用前途。胃肠灌注系统中利用 LRNN 网络来进行数据预处理,使在此基础上进行的温度控制更加有效。我们的下一步目标是将控制算法和前端的校正网络结合起来,在 DSP 芯片中实现完整的测控系统。

参考文献

- [1] Paolo Campolucci, Aurelio Uncini, Francesco Piazza and etc. "On-Line Learning Algorithms for Locally Recurrent Neural Networks" in IEEE Trans on Neural Networks, vol. 10, no. 2, pp 253-271, Mar. 1999
- [2] Ah Chung Tsoi, Andrew D. Back, "Locally Recurrent Globally Feedforward Networks: A Critical Review of Architectures" in IEEE Trans on Neural Networks, vol. 5, no. 2, pp 229-239, Mar. 1994

(收稿日期:2001 年 7 月 25 日)