

基于 MSP430 单片机和神经网络的原油三相计量装置

杨理践 刘金凤 高松巍

沈阳工业大学 信息科学与工程学院 (辽宁 沈阳 110023)

摘要 研制基于 MSP430 单片机和神经网络的原油三相计量装置。该装置将单片机和人工神经网络技术相结合用于原油三相计量,首先应用 MATLAB 软件环境下专门 BP 神经网络工具箱学习训练原油三相计量样本点数据,得到原油三相计量的 BP 神经网络软件模型,然后综合单片机和人工神经网络技术,将该软件模型嵌入到 MSP430 单片机实现原油三相计量,计量值由 LED 显示电路显示。实验结果表明:该装置计量原油三相体积流量误差小于 $0.1\text{m}^3/\text{s}$ 。该装置克服了传统仪器难以建立精确数学模型等缺点,可方便计量原油三相。

关键词 MSP430 单片机 人工神经网络 原油三相计量装置

Abstract A three-phase measuring device of crude oil is developed based on the monolithic computer MSP430 and neural network. The device that combined the technology of monolithic computer with the artificial neural network was used in the three-phase measurement of crude oil. First of all, the samples data of three-phase measurement of crude oil were learnt and studied by the use of the toolbox of BP neural network in the software MATLAB. Then by the combination of monolithic computer and artificial neural network technologies, the software model was inserted in the monolithic computer MSP430 so as to realize the three-phase measurement of crude oil, with the measuring values shown by display circuit LED. The experimental results of this device indicate that the errors of measuring three-phase volume flowing rate are less than $0.1\text{m}^3/\text{s}$. The device has overcome some defaults like being difficult to build up precise math model by traditional equipments, thus making three-phase measurement of crude oil more convenient.

Key words monolithic computer MSP430; artificial neural network; three-phase measuring device of crude oil

引言

原油三相(油、水、气)计量技术在油田开采,尤其是边际油田和海上油田具有特别重大的经济价值。原油三相计量主要装置是多相流量计^[1],但由于原油在流动过程中流型复杂、成分多变等原因,使得应用传统方法很难建立其精确的数学模型,造成原油三相计量技术开发研究极其困难,到目前为止很少有实用性较好的原油三相计量装置。

随着计算机技术、单片机技术以及神经网络技术的飞速发展,智能式将成为原油三相计量装置发展的一种必然趋势。基于 MSP430 单片机和神经网络的原油三相计量装置,是将单片机和人工神经网络技术相结合用于原油三相计量的一种智能式装置。它综合了 MSP430 单片机技术^[2]智能化以及人工神经网络技术无需精确数学模型^[3]的优点,首先应用 MATLAB 软件环境下专门 BP 神经网络工具箱学习训练原油三相计量样本点数据,得到原油三相计量的 BP 神经网络软件模型,然后将该软件模型嵌入到 MSP430 单片机实现原油三相计量,计量值由 LED 显示电路显示。该装置具有体积小、无须精确数学模型、无放射性等特点。

工作原理

系统采用 MSP430 单片机与 BP 人工神经网络相结合的方法对原油三相进行计量。所用传感器为频率、压差、压力传感器。由于单片机运算速度及存储空间限制,人工神经网络的学习、训练、识别等全过程不可能全在单片机中运行^[4]。因而,将传感器采集得到的原油三相计量样本点数据在 PC 机中由 MATLAB 软件^[5,6]环境下专门的 BP 神经网络工具箱学习训练。得到 3-11-11-3 结构 BP 神经网络,一个 3 神经元的输入层,用以输入对原油三相计量有较大影响因素的频率、压差、压力值;一个 3 神经元输出层,用以输出原油三相(油、水、气)体积流量。两个双隐层结构,第一隐层与第二隐层神经元数目均取 11,其根据经验公式(1)选取:

$$n_1 = \sqrt{n+m} + a \quad (1)$$

式中, n_1 为隐含层神经元数目, n 为输入神经元数目, m 为输出神经元数目, a 为 1~10 之间常数。根据公式有 $n_1 = \sqrt{3+3} + a$, 隐含层神经元数目在 3~13 之间,经 MATLAB 实际学习训练,隐含层神经元数目取 11 为宜。

隐含层激活函数采用 tansig, 输出层激活函数采用 purelin。训练结束后,得到如下信息:

(1)神经网络输入层维数: $M=3$ (频率、压差、压力);

(2)神经网络的隐含层 1 神经元数目: $N1=11$;

(3)神经网络的隐含层 2 神经元数目: $N2=11$;

(4)神经网络输出层维数: $N3=3$ (油、气、水体积流量);

(5)输入层到隐含层 1 的网络权值数目: $net.iw\{1,1\}=N1 \times M$;

(6)输入层到隐含层 1 的网络阈值数目: $net.b(1)=N1 \times 1$;

(7)隐含层 1 到隐含层 2 的网络权值数目: $net.lw\{2,1\}=N2 \times N1$;

(8)隐含层 1 到隐含层 2 的网络阈值数目: $net.b(2)=N2 \times 1$;

(9)隐含层 2 到输出层的网络权值数目: $net.lw\{3,2\}=N3 \times N2$;

(10)隐含层 2 到输出层的网络阈值数目: $net.b(3)=N3 \times 1$ 。

在得到以上神经网络的重要参数后,就可以编写神经网络计算软件并将其嵌入到 MSP430 单片机中。在编写神经网络计算软件中,神经元各计算节点需要用到以下公式:

$$a_1[i]=f_1\left(\sum_{i=1}^3 w_1[i] \cdot x[i]+b_1[i]\right) \quad (2)$$

$$a_2[i]=f_1\left(\sum_{i=1}^{11} w_2[i] \cdot a_1[i]+b_2[i]\right) \quad (3)$$

$$a_3[i]=f_2\left(\sum_{i=1}^{11} w_3[i] \cdot a_2[i]+b_3[i]\right) \quad (4)$$

式中: $x[i]$ 为网络输入频率、压差、压力值; $a_1[i]$, $a_2[i]$ 为隐含层神经元输出; $a_3[i]$ 为神经网络输出,即原油油、气、水体积流量; $w_1[i]$, $w_2[i]$ 为隐含层神经元权值, $w_3[i]$ 为输出层神经元权值; $b_1[i]$, $b_2[i]$ 为隐含层神经元阈值, $b_3[i]$ 为输出层神经元阈值;函数 $f_1()$, $f_2()$ 分别为隐含层激活函数 tansig;

$$f_1(n)=\frac{2}{1+e^{-2n}}-1 \quad (5)$$

和输出层激活函数 purelin:

$$f_2(n)=n \quad (6)$$

通过以上知识,就可以将单片机与神经网络技术结合在一起。MSP430 单片机通过内部 A/D 转换模块将频率、压差、压力传感器输出的电压值送入神

经网络计算子程序即可得到相应条件下原油油、气、水体积流量计量值。

设计

1 硬件设计

该装置主要由传感器模块、MSP430 单片机模块、LED 显示模块、串口电路模块 4 部分组成。硬件电路结构框图如图 1。

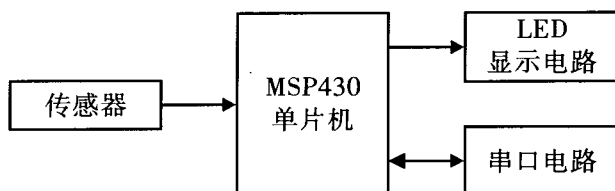


图 1 硬件电路结构框图

感器模块采集频率、压差、压力等非电量模拟信号送至 MSP430 单片机,MSP430 单片机通过内部 A/D 转换模块将频率、压差、压力传感器输出的电压值送入神经网络计算子程序,即可得到对应的原油油、气、水体积流量计量值。LED 显示电路显示油、气、水体积流量计量值。串口电路模块用于与计算机进行通信。

2 软件设计流程图

该装置软件流程图如图 2。单片机上电后或复位后,启动 A/D,循环采样频率、压差、压力信号各 10 次后,取其平均值滤波,送入神经网络计算子程序,网络输出油、气、水体积流量计量值由 LED 显示电路。

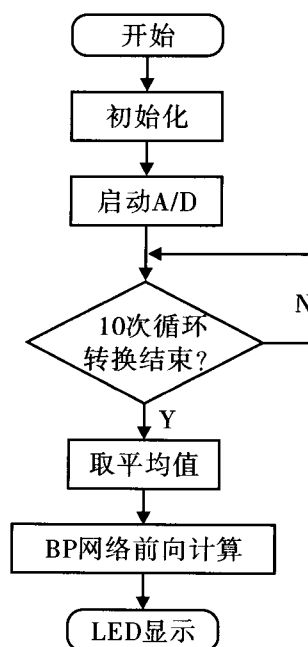


图 2 流程图

3 改进

在得到以上神经网络的重要参数后,编写神经网络前将计算子程序嵌入到 MSP430 单片机中,各隐含层神经元计算节点实现公式(2)(3)。由于单片机中的算术运算均借助于内部硬件电路实现,tansig 激活函数中 e^{-2x} 指数函数运算的存在,一方面,庞大的运算量仅依赖于单片机内部乘法器,累加器等硬件实现,无疑大大加重了单片机硬件的负担。在单片机中运行此函数,必然大大降低单片机硬件的运行速度。另一方面, e^{-2x} 指数函数运算结果若完全存储必然占用单片机大量的数据存储空间;若不完全存储,必然影响后面神经元的计算,以致影响网络输出数据精度。基于此,提出一种多项式拟合函数^[7]的方法改进 BP 神经网络算法中 S 型激活函数 tansig,用以保证在计算精度允许的范围内提高运算速度。多项式拟合不同区间的 tansig 函数,通过 MATLAB 提供的 polyfit() 实现。该函数的调用形式为:p=

polyfit(x,y,n)。得到如表 1 拟合多项式。

将多项式拟合函数曲线与 tansig 函数曲线绘制于同一幅图中观察其拟合度,拟合结果如图 3,为便于观察, $n \in [-5,5]$ 时,tansig 函数曲线用实线表示,多项式拟合函数曲线用点表示。

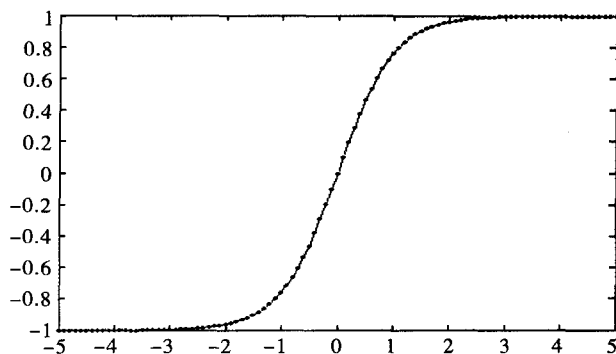


图 3 拟合结果

由图 3 拟合结果可见,表 1 多项式拟合 tansig 函数是正确可行的。

表 1 拟合多项式

拟合区间	拟合多项式
$x \in (-\infty, -3.5)$	$y = -1$
$x \in [-3.5, -2)$	$y = 0.0027x^5 + 0.0439x^4 + 0.2863x^3 + 0.9490x^2 + 1.6220x + 0.1595$
$x \in [-2, -1)$	$y = 0.0027x^5 + 0.0442x^4 + 0.2867x^3 + 0.9491x^2 + 1.6215x + 0.1560$
$x \in [-1, 1]$	$y = 0.0751x^5 - 0.3104x^3 + 0.6676x$
$x \in [1, 2)$	$y = 0.0027x^5 - 0.0442x^4 + 0.2867x^3 - 0.9491x^2 + 1.6215x - 0.1560$
$x \in [2, 3.5)$	$y = 0.0027x^5 - 0.0439x^4 + 0.2863x^3 - 0.9490x^2 + 1.6220x - 0.1595$
$x \in [3.5, +\infty)$	$y = 1$

表 2 实验结果

序号	压力 /MPa	样本输出				不改进输出			改进后输出		
		油 /m ³ ·s ⁻¹	气 /m ³ ·h ⁻¹	水 /m ³ ·30s ⁻¹	油 /m ³ ·s ⁻¹	气 /m ³ ·h ⁻¹	水 /m ³ ·30s ⁻¹	油 /m ³ ·s ⁻¹	气 /m ³ ·h ⁻¹	水 /m ³ ·30s ⁻¹	
75.45	333	0.029	0.3860	0.0000	2.7400	0.3858	-0.001	2.7400	0.3855	0.0177	2.7390
75.39	388	0.030	0.4250	0.0000	2.7500	0.4249	-0.007	2.7500	0.4226	0.0100	2.7500
80.71	1165	0.415	0.4692	2.3000	2.7200	0.4692	2.3018	2.7199	0.4713	2.3060	2.7190
82.03	1705	0.048	0.9000	5.1000	2.6900	0.9002	5.1011	2.6900	0.8994	5.1110	2.6890
81.98	507	0.030	0.7400	4.4000	2.6800	0.7407	4.4060	2.6800	0.7418	4.3870	2.6800
82.23	331	0.023	0.8000	3.5000	2.6600	0.8021	3.5076	2.6600	0.8030	3.5030	2.6590
79.08	694	0.033	0.4301	1.2000	2.7100	0.4300	1.1999	2.7100	0.4316	1.2201	2.7103
80.77	1001	0.040	0.4301	2.1000	2.7100	0.4301	2.1007	2.7100	0.4335	2.1441	2.7093
81.59	1078	0.042	0.4301	4.3000	2.7100	0.4302	4.3006	2.7100	0.4436	4.3156	2.7766
80.98	1501	0.046	0.9300	4.0000	2.6900	0.9301	4.0006	2.6900	0.9316	4.0100	2.6900
78.49	1373	0.038	0.8100	1.2000	2.6900	0.8099	1.1999	2.6900	0.7980	1.1360	2.6905
80.15	479	0.024	0.7400	1.5000	2.6800	0.7399	1.4999	2.6800	0.7363	1.4720	2.6793
81.72	5.07	0.025	0.7400	2.3000	2.6800	0.7401	2.3031	2.3800	0.7392	2.2736	2.6802
80.67	1092	0.044	0.4600	2.8000	2.6900	0.4600	2.800	2.6900	0.4597	2.8280	2.6869
82.42	253	0.020	0.8000	3.6000	2.6600	0.8021	3.6104	2.6598	0.7913	3.5423	2.6609

不改进激活函数一次计量输出平均时间:15s

改进激活函数一次计量输出平均时间:12s

实验结果

基于 MSP430 单片机和神经网络的原油三相计量装置实验中采用多项式拟合函数的方法改进算法中 S 型激活函数 tangsig 与直接应用 S 型激活函数 tangsig 的神经网络,输出得到的原油三相计量值实验结果如表 2。

实验结果表明,该装置计量原油三相体积流量误差小于 $0.1\text{m}^3/\text{s}$,可方便实现计量。且采用多项式拟合函数的方法拟合 BP 神经网络中 S 型激活函数 tangsig 在保证计算精度的基础上明显提高了速度。

结 论

基于 MSP430 单片机和神经网络的原油三相计量装置具有体积小、无须精确的数学模型、无放射性等特点。实验数据表明该装置计量体积流量误差小于 $0.1\text{m}^3/\text{s}$ 。应用多项式拟合函数的方法改进 BP 神经网络算法中 S 型激活函数 tangsig,在计算精度允许的范围内提高了运算速度。

[参考文献]

- [1] 王勇国. 国外新型多相流量计量技术综述 [J]. 油气田地面工程, 1996,3.
- [2] 胡大可.MSP430 系列 FLASH 型超低功耗 16 位单片机[M].北京:北京航空航天大学出版,2001.
- [3] 魏海坤.神经网络结构设计的理论与方法[M].北京:国防工业出版社,2005.2.
- [4] 李广义,张伟,李民强,等.基于 MSP430 单片机和神经网络的气体浓度检测仪[J].仪表技术与传感器,2006(2).
- [5] 丛爽.面向 MATLAB 工具箱的神经网络理论与应用[M].合肥:中国科学技术大学出版社,1998.
- [6] 飞思科技研发中心.神经网络理论与 MATLAB7 实现[M].北京:电子工业出版社,2005.
- [7] 求是科技.单片机典型模块设计势力导航[M].北京:人民邮电出版社,2004.

杨理践,1956 年生,沈阳工业大学教授,博士生导师。主要研究方向:油井管道检测及计量仪器。

简 讯

油气田开发专标委气田开发分标委召开标准宣贯会

2008 年 4 月 11 日,由油气田开发专标委天然气田开发分标委、西南油气田分公司川西北气矿共同举办的“气田开发标准宣贯暨有水气田开发技术研讨会”在成都邛崃召开。来自中石油西南油气田分公司勘探开发研究院、采气工程研究院的专家、川西北气矿江油、梓潼、邛崃三个作业区以及研究所的技术负责人及部分技术干部、一线班组长共计 54 人参加了会议。

会上,西南油气田分公司勘探开发研究院高级工程师贺伟对行业标准《气藏开发设计调整方案编制技术要求》及《气藏动态分析技术要求》所涉及的

主要内容与需要考虑的主要问题等进行了详尽的讲解;勘探开发研究院高级工程师何晓东则以需持续稳产的平落坝气田为例,从地层边水的动态特征、规律、开发调整方案的编制多层面进行了分析。

此次会议的成功召开,不仅有效提高了与会人员对有水气藏开发的认识,增强了气井动态分析能力,同时也坚定了两级机关坚持气田排水采气工作的信心,为川西北气矿在有水气田开发工作提供了有力的技术支撑和指导。

(肖侠摘自《中国石油网》)

中国石油举办 HSE 培训班

2008 年 4 月 21 日至 22 日,中国石油天然气集团公司部分企事业单位约 120 名总经理、副总经理在北京中国石油干部管理学院,参加了为期两天的 HSE 培训班学习。据了解,2008 年中国石油天然气集团公司将分 6 大片区 8 个班次对下属 128 家企业的领导班子进行 HSE 体系培训,此次培训班即为这一培训计划的首个班次。培训班开办的《中国石油

HSE 专题讲座》、《环境保护》等专题讲座引起学员们的兴趣。本次培训班聘请的授课教师,既有中国石油天然气集团公司质量安全环保部的主管人员,也有国际知名公司的专家以及国内知名学府的学者,是一次系统学习 HSE 体系的好机会。

(肖侠摘自《中国石油网》)