

畜舍内混合气体定量检测系统的研究

葛广军, 杨斌, 王俊 (1. 平顶山工学院, 河南平顶山 467001; 2. 河南科技大学, 河南洛阳 471003)

摘要 将气体传感器阵列与神经网络模式识别技术相结合, 构建了一个多组分混合气体定量检测系统, 进行了初步的试验, 并对试验方法进行了改进。结果表明, 用该方法识别准确率接近93%, 为畜舍内空气质量的在线检测打下了良好的基础。

关键词 畜舍; 多组分气体; 径向基函数神经网络; 传感器阵列

中图分类号 S851.2⁺4 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2007)12-03744-02

Research on Multi-Gas Quantitative Analysis System at Swine Building

GE Guang-jun et al (Pingdingshan Industry College, Pingdingshan, Henan 467001)

Abstract The gas sensor array was combined with artificial neural network pattern recognition to form a mix-gas quantitative analysis system. Primary test result of the system and some optimizing methods to the experiment were also given. The result showed that new technique was precise and effective in identification with recognizing precise rate of near 93%, and was feasible for practical multi-gas quantitative analysis system at swine buildings.

Key words Swine building; Multi-component-gas; Radial basis function neural network; Sensor array

对畜牧场产生的恶臭及有害气体的治理问题是畜牧生产中亟待解决的问题。畜牧场散发的恶臭及有害气体成分很多, 主要有 NH_3 、 H_2S 、 CO_2 等多种混合气体, 实现对混合气体进行快速、准确的分析测试, 并判定其成分与浓度, 为畜牧场空气质量实时监控提供准确数据, 对确保安全生产具有十分重要的现实意义。

传统的检测方法通常只能测定1种气体, 对于含有多种成分的混合气体, 就需要多种传感器和仪表。利用红外气体分析仪和气体成像分析仪可以对气体成分与浓度作较精确的测试, 但其工作原理、装置复杂, 使用环境要求高, 体积大, 价格昂贵, 不适合畜牧场混合气体监测。

1 系统分析原理

近年来兴起的智能气体分析, 是一种将气敏阵列技术与人工神经网络技术结合起来的混合气体分析新方法^[1]。其基本原理是: 把对混合气体各组分具有不同灵敏度及选择性的多个气敏元件组成气敏阵列, 阵列的输出信号作为神经网络的输入样本, 神经网络的输出对应混合气体各组分的浓度。欲实现对未知混合气体各组分浓度的准确检测、识别, 必须预先用学习样本对神经网络进行训练, 建立神经网络输入层、隐层、输出层之间的连接关系, 确定网络结构。

传统的一个3层 Back Propagation (BP) 网络在一定条件下可以逼近任意一个非线性函数, 但它的隐层数目和隐层的神经元数目确定困难, 并且学习时间长, 学习过程中易陷入局部极小点。而 Radial Basis Function (RBF) 神经网络对于每个输入输出, 只需要调整少数权值, 属于局部逼近。也正因为 RBF 网络的局部逼近性, 使得它在逼近能力、学习速度等方面均优于 BP 网络, 而且可以简化网络的结构和学习规则。因此, 笔者采用径向基 (RBF) 神经网络解决系统输入输出的多维非线性逼近问题。

1.1 径向基 (RBF) 神经网络

径向基函数网络是一种2层前向网络, 包括隐层 (radbas 层, 含 S_1 个神经元) 和输出层 (purelin 层, 含 S_2 个神经元)。其结构如图1所示, 其中, R 为输入数, S_1 为第1层神经元

数, S_2 为第2层神经元数。网络输出是隐层基函数的线性加权组合。隐层基函数对输入激励产生一个局部化的响应, 即仅当输入落在输入空间中一个很小指定区域中时, 隐单元才做出有意义的非零响应。在 RBF 网络中, 在隐层执行的是一种固定不变的非线性变换, 将输入空间映射到一个新的空间, 输出层在该新的空间中实现线性组合器, 可调节的参数就是该线性组合器的权值。这种方法的优点是可以利用线性最小平方方法确定这些参数^[2-3]。该研究中的径向基函数采用 Gaussian 函数, 用函数 `simrb` 实现径向基函数网络的仿真, 每层输出 a_1 和 a_2 可由函数 `simrb` 得到, 即: $[a_1, a_2] = \text{simrb}(P, w_1, b_1, w_2, b_2)$ 。

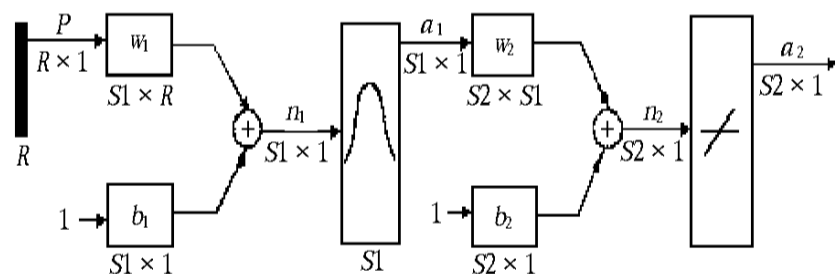


图1 径向基函数网络结构

1.2 RBF 神经网络的设计及其参数 采用的 RBF 学习方法, 是将径向基函数的中心选作训练模式的子集。这种方法1次选择1个样本, 方式是使解释期望输出方差的递增增益量最大。利用正交最小平方算法确定输出层映射, 利用 Akaike 类型的标准确定隐层节点数。该标准同时包括了“模型拟合度”和“模型复杂性”测度, 当模型拟合中的递增增益小于模型复杂性的增量时便不再添加隐层节点^[4]。

Matlab 神经网络工具箱中有2种创建 RBF 网络的函数: 精确设计 `newrbe` 和标准设计 `newrb`。精确 RBF 和标准 RBF 的区别是: 精确 RBF 直接选择径向基神经元数与输入矢量训练数组的维数一样多的径向基网络, 这可使所得网络的输入矢量和目标矢量之间的误差最小化。而标准 RBF 可得到规模较小的网络, 但存在着一定的允许误差^[5]。为获得最小误差, 笔者采用精确设计 RBF, 其调用格式为: `net = newrbe(P, T, spread)`, P 表示输入向量矩阵, T 表示期望输出向量矩阵, 分散度 `spread` 默认值为1。其值越大, 网络逼近的函数越平滑。但取值过大, 将导致在逼近变化比较剧烈的函数时, 使用神经元过多; 若取值过小, 则导致在逼近平滑函数时, 使用的神经元过多。

作者简介 葛广军(1974-), 男, 河南叶县人, 硕士, 从事电气信息技术应用研究。

收稿日期 2006-12-09

2 实验及系统组成

RBF 网络属有监督学习网络。要使网络具有广的泛化能力并解决实际问题,首先需要大量具有代表性的学习样本训练网络。为此,必须获得大量准确且具有代表性的实测数据或实验数据,建立网络学习样本库和测试样本集。笔者采用标定实验法获取网络学习样本与测试样本。

2.1 实验原理及实验装置 将被测气体按所需测量精度和浓度范围按成分分成不同的浓度等级,采用标准气体配置这些等级的不同成分气体的所有组合作为标准模态来训练神经网络。通过识别某一未知气体样本的模式,即可得到未知气体的成分浓度。例如,在实验中,笔者选用 CO_2 、 NH_3 和 H_2S 互相参比配制混合气体样本。根据传感器的灵敏范围,将配制的气体浓度限制在 $100 \sim 1\,000 \mu\text{L}$, 浓度变化间隔为 $100 \mu\text{L}$ 。这样每种气体有 11 种浓度模式,共计可得到 1 331 个样本。采用这些样本作为原始数据训练神经网络,就可实现在这一浓度范围内的最大误差为 $100 \mu\text{L}$ 的定量测量。

气体实验装置主要由气体源、通路、气体流量计、混合气体测试室、气体传感器阵列、系统控制、数据采集板和计算机等组成,结构如图 2 所示。由于实验需要不同浓度和不同成分的气体样本,笔者利用真空泵产生负压式混合气室。气体源先经气体流量计控制进入抽成真空或负压的混合气室中,然后由风扇混合产生所需的气体样本。计算机通过协调各阀门和气体流量计的工作,可以在测试箱中产生所需浓度的单一或多组分气体,气体传感器阵列安装于测试箱内,与计算机数据采集板连接,用以采集与实验气体相对应的样本数据。对气体的温度、湿度及压力情况可以通过安装在测试室内的传感器读出,并由计算机精确控制。

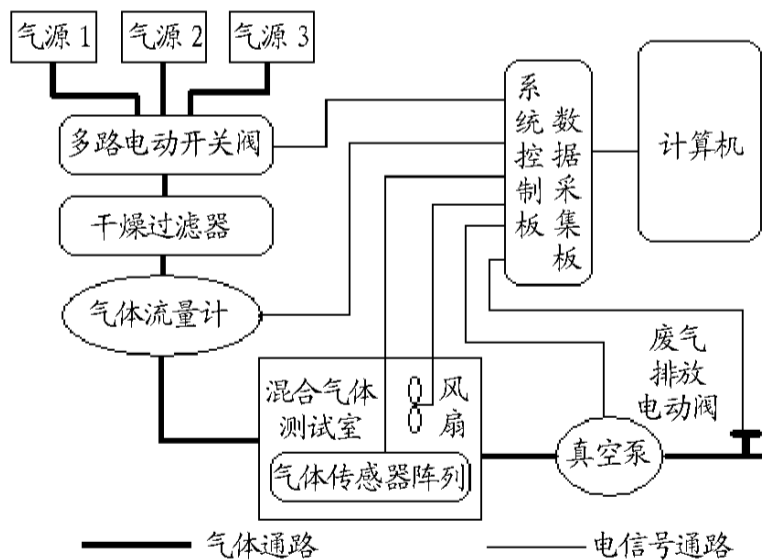


图2 气体样本标定实验装置

实验中为了有效地分辨 CO_2 、 NH_3 和 H_2S 气体,笔者选取 6 个常用的金属氧化物半导体气体传感器,型号分别是 $\text{NH}_3/\text{S}2$ 、 $\text{NH}_3/\text{S}6$ 、 $\text{LTM}8803\text{-CO}_2$ 、 $\text{LTM}8806\text{-CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}/\text{C}1$ 和 $\text{H}_2\text{S}/\text{C}6$ (深圳市富安达智能科技有限公司)。这 6 个传感器都是 N 型半导体气敏元件,都能敏感 CO_2 、 NH_3 和 H_2S 气体,但是对于同一种气体,6 个传感器的灵敏度各不相同。其中, NH_3/S 对 NH_3 最为敏感, LTMCO_2 对 CO_2 最为敏感, $\text{H}_2\text{S}/\text{C}$ 对 H_2S 最为敏感。这样配置的传感器阵列除了能够在整体上对被测气体形成高维响应模式外,还可以利用单个传感器的部

分选择性来突出某一维响应中某种气体成分的信息量。

2.2 测试结果及分析 通过对大量样本的测量比较,笔者发现对个别样本的测量效果不是很理想,其误差较大的主要原因有 2 方面:一是传感器本身的结构造成的,由于敏感器件固有的交叉敏感性,当被测气体是混合样本时,输出响应比较复杂;其次,通过反复比较,发现 RBF 函数的参数 spread 不同,对不同气体识别误差不同。为了对各组分气体均获得相对高的精度,spread 应该取不同的数值,也就是说识别不同气体,应该用不同的网络权值。

下面论述如何确定 $\text{newrbf}(P, T, \text{spread})$ 中的参数 spread。由 CO_2 传感器输出数据,求得相邻样本点最大差值及任意样本点最大差值,从而确定径向基隐层阈值 $b = [0.001 \quad 1.362]$ 。由公式 $\text{spread} = 0.832 \cdot 6 / b$,得到 $\text{spread} = [0.6 \quad 1\,000]$ 。该研究对 spread 区间以 0.1 为步长,将测试样本带入已训练好的网络,得到识别 CO_2 气体浓度值的 spread 最优值 2.7。同理得到识别 NH_3 、 H_2S 气体浓度值的 spread 最优值分别为 1.3、1.6。表 1 中网络输出的 NH_3 、 H_2S 和 CO_2 是在 spread 数值为 1.3、1.6 和 2.7 时分别获得的。

表1 混合气体测试结果

序号	气体浓度标定值 μL			实际检测结果 μL			误差 %		
	CO_2	NH_3	H_2S	CO_2	NH_3	H_2S	CO_2	NH_3	H_2S
1	101	102	103	107	108	109	5.94	5.88	5.83
2	203	104	106	215	110	112	5.91	5.77	5.66
3	310	105	107	328	111	113	5.81	5.71	5.61
4	407	211	112	430	199	106	5.65	5.69	5.36
5	512	207	209	540	218	220	5.47	5.31	5.26
6	605	216	210	638	205	199	5.45	5.09	5.24
7	721	313	214	760	298	225	5.41	4.79	5.14
8	816	309	310	859	323	325	5.27	4.53	4.84
9	914	312	301	960	299	314	5.03	4.17	4.32
10	1 000	403	318	1 048	387	306	4.80	3.97	3.77
11	987	514	403	1 029	496	388	4.26	3.50	3.72
12	998	605	402	1 036	585	389	3.81	3.31	3.23
13	613	608	410	592	589	422	3.43	3.13	2.93
14	610	706	511	591	727	497	3.11	2.97	2.74
15	814	803	508	837	824	496	2.83	2.62	2.36
16	518	910	616	506	931	630	2.32	2.31	2.27

3 结束语

实验结果表明,气体传感器阵列与 RBF 神经网络模式识别方法结合进行多组分气体浓度测量具有较好的效果,对未知样本气体的定量测量准确率达到 93%,如果进一步调整和完善传感器阵列的硬件测量线路,细化样本的浓度变化量,则可以开发出应用于实际复杂环境中的多组分混合气体测量系统,为畜舍内空气质量的在线检测打下良好的基础。

参考文献

- [1] NEHING GETC. Design of sensor arrays by use of an inverse feature space [J]. *Sensors and Actuators B*, 1995(24/25): 781 - 784.
- [2] 楼顺天,施阳. 基于 MATLAB 的系统分析与设计——神经网络 M. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1999: 14 - 17.
- [3] 曲建岭,王磊,高峰. 利用前馈神经网络进行气体定性分析[J]. *仪器仪表学报*, 2000, 21(5): 471 - 473.
- [4] 石春燕,王剑钢. 混合气体定量检测系统的研究[J]. *测控技术*, 2004, 23(8): 5 - 6.
- [5] 马学童,马奎,王磊. 多组分气体定量检测研究[J]. *仪器仪表学报*, 2001, 22(4): 58 - 59.