

文章编号: 1000-5862(2014)04-0358-04

# BP 神经网络在电子鼻分类识别多品牌白酒中的应用研究

陈秀丽<sup>1</sup>, 赵爱娟<sup>1</sup>, 卫世乾<sup>2</sup>

(1. 郑州师范学院化学系, 河南 郑州 450000; 2. 许昌学院学报编辑部, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 由于 MQ3、MQ4、TGS813、TGS2620 4 个金属氧化物半导体组成的气体传感器阵列对酒精气体及有机物交叉敏感, 据此建立实时数据采集系统, 并提出稳态特征值和动态特征值的提取方法, 进而结合 BP 神经网络识别方法, 通过所建立的电子鼻系统对 3 种不同品牌白酒进行了分类识别实验. 结果表明: 电子鼻系统对不同品牌白酒的识别率稳态特征时达 90.0%, 动态特征时达 83.3%.

**关键词:** 电子鼻; 白酒检测; 传感器阵列; BP 神经网络; 识别率

**中图分类号:** TP 212      **文献标志码:** A

## 0 引言

近年来, 飞速发展的电子鼻技术除了集中在气敏传感器器件的开发和选择上, 还在电子鼻信号预处理方法和模式识别方法的提升以及电子鼻技术的应用等方面获得了长足发展<sup>[1-7]</sup>. 其中如何选择合适的传感器器件、信号预处理方法和模式识别方法在整个电子鼻技术领域中一直是个难点问题. 目前已经开发出多种敏感材料和阵列结构, 如张覃轶等<sup>[8-9]</sup>应用纳米技术研制出纳米 ZnO 厚膜气敏传感器阵列; 借助 MEMS 工艺, 邓俊泳等<sup>[10]</sup>研究了新型复合式微传感器阵列. 相比之下, 本文所采用的由金属氧化物半导体传感器组成的气体传感器阵列, 容易制作, 成本较低, 具有较高的灵敏度和较快的响应速度. 国内外关于电子鼻特征值提取方法的研究多有报道, 并提出了一些优化方法<sup>[11-13]</sup>. 邵应清等<sup>[14]</sup>从气体传感器响应曲线中提取 4 个特征值, 用神经网络方法对不同乙醇溶液进行识别, 得到较高的测试样本识别率; 史志存等<sup>[15]</sup>对传感器响应曲线的上升沿做了多项式拟合, 取常数项和一次项系数作为特征, 用主成分分析法对不同品牌白酒进行识别, 取得了较好的识别效果. 本文利用 BP 神经网络法, 选取传感器响应曲线上某几点响应值作为静态值, 将某一段曲线上的弧度信息选作动态值, 对不同白酒的特征值进行模式识别, 并通过优化, 取得了较佳的识别效果, 进而为不同白酒的区分提供了新的

方法与思路.

## 1 电子鼻系统

电子鼻系统可以分为模拟信号处理和数字信号处理两大部分. 前者主要包括气体传输系统和气敏传感器. 气敏传感器阵列对进入其小室中的混合气体产生响应, 并将气体的浓度值转换为电信号, 随之送入数字信号处理部分并做后续处理; 后者主要包括信号的预处理、特征提取及模式识别. 通过模拟信号采集得到的数据需要经过滤波, 去除一些无用的信息, 然后进入特征提取阶段, 将提取出来的综合信息送入模式识别单元中分析并取得结果. 电子鼻系统的基本构造如图 1 所示.

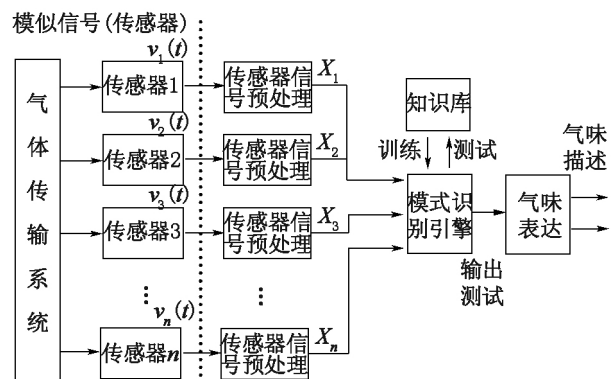


图 1 电子鼻系统的基本构造

### 1.1 合适的传感器阵列

传感器阵列作为电子鼻系统的核心部件, 能显

收稿日期: 2013-12-28

作者简介: 陈秀丽(1967-), 女, 河南许昌人, 讲师, 硕士, 主要从事化学教学及应用方面的研究.

著提高整个系统的性能,因此,要考虑构成气敏传感器的各单元的选择性。气敏传感器单元组成的阵列如对特定气体具有较好选择性,那么其对该特定气体及其混合气体的识别能力就比较强,但对成分更复杂的混合气体的识别能力较弱,并且能够识别的气体种类有限。为此,可以采用具有较宽的响应范围和较弱选择性的传感器器件,借助模式识别技术来提升系统的选择性和精度,同时还要求传感器阵列在检测过程中器件可以稳定可靠地工作来实现系统的实用化。

到目前为止,还未出现专门对白酒气味进行测量的气敏传感器,而现实中用于区别各种不同品牌白酒的主要标准是酒精度和微量有机物,其中酒精的含量占主要信息。所以在选择气敏传感器时首先要要求传感器对酒精气体敏感,其次要求它能够对白酒中的微量有机物敏感。

系统中传感器阵列单元选择的主要目标是:稳定的阵列和合理化的阵列规模。本实验采用MQ3、MQ4、TGS813、TGS2620 4个金属氧化物半导体传感器组成的气体传感器阵列,这4个传感器分别对酒精可燃气体及有机物敏感。根据对半导体气敏传感器的研究,本文提出了通过计算各传感器响应值的相对标准方差来反映传感器对被测气体的稳定程度。对于某种传感器,如果它对某种白酒气体反应较为稳定,则反映为传感器响应值的相对标准方差较小,反之亦然。相对标准方差( $R_{SD}$ )计算公式为

$$R_{SD} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} / \bar{x}, \quad (1)$$

其中 $N$ 为样本数, $\bar{x}$ 为样本均值。

传感器灵敏度计算公式为 $K = R_s/R_0$ ,其中 $R_0$ 为气敏传感器在洁净空气条件下的电阻值, $R_s$ 为气敏传感器在一定浓度下检测气体的电阻值。

## 1.2 特征提取方法

由气敏传感器阵列直接得到的数据较多,其中,测量曲线上的特征参数如何选择对模式识别非常关键。因此在选择时应保证等级间最好的识别效果模式数据的稳定性,使特征参数包含大多数传感器最有特征的响应信号。为了获得相对稳定的传感器信号,可以在测试趋于稳定的时刻,选择相对合适的数据分析点;也可以在测量过程中,选择传感器信号的均值,以获得传感器在整个测量过程中的平均反应信号;还可以在测量过程中,选择信号的高峰值,从

而获得传感器对测量气体的最大反应信号;也可以选择前几秒内传感器信号的均值,来表示传感器对测量气体的反映速度的快慢,也可以选择前几秒内传感器信号的均值;或者,为表示传感器在稳定阶段的平均反映特性,可以选择最后几秒内传感器信号的均值作为特征参数。

本文选择提取在测试趋于稳定的时刻传感器响应值作为静态特征值,用于反映传感器对不同白酒香气在气味方面的稳定状况。同时为了反映不同白酒挥发能力的不同,本文用提取传感器动态响应值的方法,提取气敏传感器响应曲线在上升阶段近似圆弧的半径作为特征值进行处理。通过分别提取传感器静态特征值及动态特征值,以全面地反映白酒的状态。

## 1.3 BP神经网络模式识别法

模式识别是指,为获得混合气体的组分信息和浓度信息,对气敏传感器阵列的输出信号进行合适的处理过程。模式识别技术在电子鼻中,对整个系统的搭建起着尤为关键的作用,通常情况下,模式识别方法通常采用人工神经网络模式识别和统计模式识别2大类<sup>[4]</sup>。本文采用BP神经网络模式识别。作为电子鼻领域应用最多的算法之一,BP人工神经网络(BP-NN)具有易于理解、算法功能强大、训练简单等诸多优点<sup>[2]</sup>。其中,能够实现输入与输出数据之间的非线性映射,是BP人工神经网络的最大优点。因此,BP人工神经网络不仅效果不错,而且算法应用广泛。

## 2 实验内容

### 2.1 传感器对实验样本的相对标准方差

在实验中利用MQ3、MQ4、TGS813、TGS2620 4个金属氧化物半导体传感器组成的气体传感器阵列,样本采用北京红星股份公司出品的清香型红星二锅头、北京牛栏山酒厂出品的清香型牛栏山二锅头、北京市八达岭酿酒厂出品的老猎头酒。采取液体定量取样方式,用微量注射器对3种不同品牌的白酒,分每次定量取样 $2.46 \mu\text{L}$ 酒溶液放入容器内进行测试,记录每次测试各个传感器的反应值(实验中每组数据平行测10次,去除最大和最小值,其余8个取均值),利用公式(1)进行统计分析,得到表1中4种传感器响应值的相对标准方差。

表 1 4 个传感器响应值的相对标准方差

传感器		V( 红星) / $\mu\text{L}$			V( 牛栏山) / $\mu\text{L}$			V( 老猎头) / $\mu\text{L}$		
		2	4	6	2	4	6	2	4	6
MQ3	方差	0.006 4	0.004 3	0.008 1	0.013 5	0.008 3	0.011 3	0.020 9	0.031 1	0.019 9
	均值	2.805 8	3.412 9	3.634 9	2.650 7	3.255 9	3.476 1	2.526 2	3.120 7	3.369 9
MQ4	方差	0.031 0	0.028 7	0.029 8	0.035 3	0.033 3	0.032 1	0.031 8	0.030 4	0.025 7
	均值	0.677 5	0.910 3	1.311 2	0.615 3	0.737 8	1.144 0	0.576 2	0.645 5	1.038 9
TGS813	方差	0.035 1	0.030 1	0.033 2	0.026 1	0.021 2	0.020 3	0.027 4	0.026 4	0.022 3
	均值	0.744 8	0.711 6	1.207 5	0.688 6	0.609 9	1.095 2	0.653 2	0.553 3	1.001 2
TGS2620	方差	0.012 6	0.011 8	0.013 9	0.035 8	0.030 1	0.029 9	0.040 7	0.036 5	0.047 8
	均值	0.619 0	0.671 1	1.032 9	0.553 3	0.568 3	0.936 5	0.515 2	0.507 3	0.855 9

由表 1 可以看出, MQ3、MQ4、TGS813、TGS2620 4 种气敏传感器对 3 种不同品牌白酒在不同浓度下响应值的相对标准方差均较小, 满足气体传感器阵列对稳定性的要求. 通过对比表 1 中 4 种传感器对不同白酒响应值的均值大小, 可以得出以下结论: 传感器对不同品牌的白酒分别具有不同的响应值, 可以通过对传感器响应值的大小进行相应的处理分析, 进而区分不同品牌的白酒.

## 2.2 响应特征曲线

对 3 种不同的白酒用微量注射器每次定量取样 4  $\mu\text{L}$  放入容器内, 进行重复测试. 每种酒取 30 组样本, 则 3 种酒在 4  $\mu\text{L}$  浓度下共获 90 组样本. 图 2 所示为气体传感器的响应特征曲线.

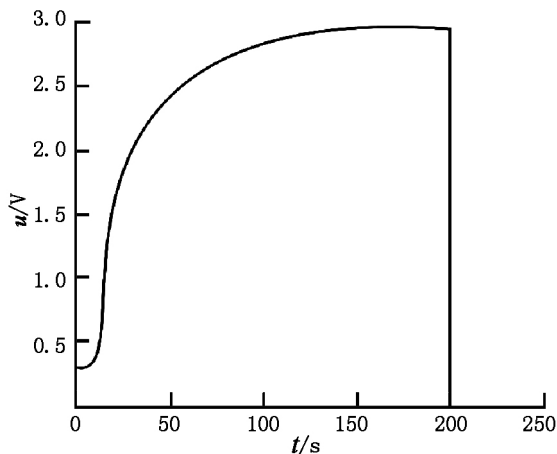


图 2 气体传感器的响应特征曲线

## 2.3 特征值的提取

在实验中, 为了减小实验误差, 对响应曲线所包含的信息作充分地提取, 分别选取传感器的每条响应曲线稳定时的后 20 个点的  $y_{iq}$  求平均值, 作为后续的分析数据, 将其记作  $V_i^{\max}$ . 最后处理时, 采用差分法  $x_i = (V_i^{\max} - V_i^{\min})$ , 并把  $V_i^{\max}$  进行外理后作为

通入模式识别单元的分析值, 其中, 第  $i$  个传感器对环境的响应值记为  $V_i^{\min}$ . 同时选取传感器响应曲线 50 ~ 1000 个点位置所构成的弧线的半径作为动态特征值.

## 3 BP 神经网络对 3 种不同品牌白酒的分类识别结果

BP 神经网络能够通过已知样本, 从而对未知的样本作出判别. 把 3 种白酒响应曲线的特征值作为系统的输入, 通过网络训练调整网络的权值和阈值使输入与相应的输出相对应, 从而得到精确的分类信息.

由于存在 4 个气敏传感器, 而实验中需要分类识别的白酒有 3 种, 据此建立了具有 4 维输入和 3 维输出的 BP 神经网络. BP 神经网络输出的每一个神经元分别与一种品牌的白酒相对应. 本实验对 3 种不同品牌的白酒在同一浓度下进行重复测量, 共获得 90 个样本. 利用稳态特征值提取与动态特征值提取的方法, 获得相应的特征值. 在 BP 神经网络分析中, 测试样本选自每种白酒的 20 个样本值, 训练样本选自每种白酒的其他 10 个样本值, 即 3 种白酒的测试样本共计 60 个, 训练样本共计 30 个, 用以上样本进行 BP 神经网络的训练和测试. 实验中, 选取 3 层 BP 神经网络, 其中, 要求隐层神经元数取为 13, 并将  $\text{tansig}$  作为隐层神经元的激励函数, 将  $\text{purelin}$  作为输出层神经元的激励函数. BP 神经网络中的训练函数采用 Moller 提出的量化共轭梯度法 (SCG). 其中网络最大训练步长设置为 20 000, 目标误差定为  $10^{-2}$ , 网络训练过程如图 3 所示.

从图 3 可以看出, BP 网络对 3 种不同品牌白酒经过 473 步的训练步长后就收敛, 训练速度较快, 其

训练完成后所得的网络的均方差  $\sigma = 0.009\ 977\ 66 < goal = 10^{-2}$  ,因此完全能达到性能指标.

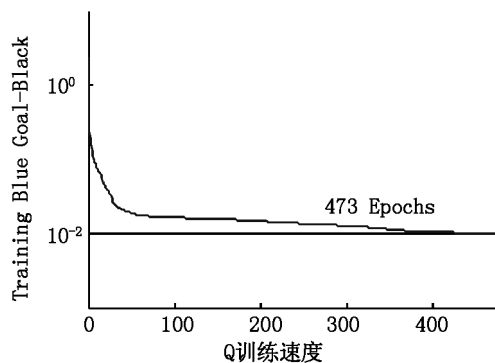


图3 BP神经网络对3种不同品牌白酒定性分析的网络训练过程

利用BP神经网络稳态及动态特征值提取方法,在 $4\ \mu\text{L}$ 浓度下对3种不同品牌的白酒进行分析,结果见表2.

表2 BP网络对3种不同品牌白酒的分析结果

白酒浓度/ $\mu\text{L}$	特征值	白酒种类	测试样本	误判数	识别率/%
4	稳态	红星	20	1	90.0
		牛栏山	20	3	
		老猎头	20	2	
	动态	红星	20	4	83.3
		牛栏山	20	0	
		老猎头	20	6	

从表2可以看出,利用BP神经网络所搭建的电子鼻系统对不同品牌白酒的分类识别有较好的效果(识别率为正确识别的样本数与测试样本总数的百分比).在电子鼻系统当前的测试环境下,BP神经网络对3种不同品牌白酒的识别率稳态特征时达到90.0%,动态特征时识别率达到83.3%.

## 4 结论

建立了一套能够对不同品牌白酒进行分类识别的电子鼻系统.根据气敏传感器的响应特性,分析了传感器的响应曲线,提出了传感器稳态和动态特征值的提取方法.结合BP神经网络模式识别法,所搭建的电子鼻系统对于白酒的分类识别实验取得了较好的效果.实验结果表明:利用BP神经网络模式识别法对3种不同品牌白酒进行识别,得到较佳的识别率,最高可达90.0%.

## 5 参考文献

- [1] Llobet E ,Gualdron O ,Vinaixa M ,et al. Efficient feature selection for mass spectrometry based electronic nose applications [J]. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 2007 ,85( 2) :253-261.
- [2] Fu Jun ,Li Guang ,Qin Yugi ,et al. A pattern recognition method for electronic noses based on an olfactory neural network [J]. Sensors and Actuators ,B: Chemical ,2007 ,125( 2) :489-497.
- [3] El Barbri N ,Amari A ,Vinaixa M ,et al. Building of a metal oxide gas sensor-based electronic nose to assess the freshness of sardines under cold storage [J]. Sensors and Actuators ,B: Chemical 2007 ,128( 1) :235-244.
- [4] 黄小燕,赵向阳,方智勇. 电子鼻在气体检测中的应用研究 [J]. 传感器与微系统 2008 27( 6) :47-49,52.
- [5] Tudu B ,Jana A ,Metla A ,et al. Electronic nose for black tea quality evaluation by an incremental RBF network [J]. Sensors and Actuators ,B: Chemical 2009 ,138( 1) :90-95.
- [6] 马戎,周王民,陈明. 基于传感器阵列与神经网络的气体检测系统 [J]. 传感技术学报,2004 ,17( 3) :395-398.
- [7] Zhang Hongmei ,Chang Mingxun ,Wang Jun ,et al. Evaluation of peach quality indices using an electronic nose by MLR ,QPST and BR network [J]. Sensors and Actuators ,B: Chemical 2008 ,134( 1) :332-338
- [8] 张覃轶,谢长生,阳浩,等. 电子鼻模式识别算法的比较研究 [J]. 传感技术学报 2005 ,18( 3) :576-579.
- [9] 张覃轶. 电子鼻:传感器阵列、系统及应用研究 [D]. 武汉:华中科技大学 2005:52-66.
- [10] 邓俊泳,冯勇建,吴青海. 微气体传感器阵列及神经网络的应用 [J]. 传感器技术 2002 21( 8) :44-46.
- [11] 王米娜. 电子鼻动态特征信息处理方法研究 [D]. 西安:西北工业大学 2005:17-20.
- [12] Panigrahi S ,Balasubramanian S ,Gub H ,et al. Design and development of a metal oxide based electronic nose for spoilage classification of beef [J]. Sensors and Actuators ,B: Chemical 2006 ,119( 1) :2-14.
- [13] Garcia M ,Aleixandre M ,Gutierrez J ,et al. Electronic nose for wine discrimination [J]. Sensors and Actuators ,B: Chemical 2005 ,113( 2) :911-916.
- [14] 邵应清,邹小波. 厚膜  $\text{SnO}_2$  气体传感器的嗅觉特征提取与处理 [J]. 传感器技术 2000 ,19( 6) :15-17.
- [15] 史志存,李建平,马青,等. 电子鼻及其在白酒识别中的应用 [J]. 仪表技术与传感器 2000( 1) :34-37.

(下转第377页)

- chical quantum information splitting with six-photon cluster states [J]. Inter J Theor Phys 2010 49: 2691-2697.
- [16] Briegel H J, Raussendorf R. Persistent entanglement in arrays of interacting particles [J]. Phys Rev Lett 2001 86: 910-913.
- [17] 肖仕敏, 李渊华, 桑明煌, 等. 基于 5 粒子团簇态实现 2 粒子未知态的量子隐形传态 [J]. 江西师范大学学报: 自然科学版 2012 36(4): 370-372.

## Controlled Hierarchical Quantum Communication of an Unknown Two-Qubit Entangled State

WANG Zuo-dong, XU Wei, HUANG Yi-bin\*

(College of Physics & Communication Electronics, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi 330022, China)

**Abstract:** A scheme of controlled hierarchical quantum information of an unknown two-qubit entangled state by using a six-qubit cluster state as the quantum channel is proposed. Because of their different level of trust by the sender, different receivers have different ability to recover the unknown state. The sender needs to perform a joint von-Neumann measurement on her three qubits, controller according to different receivers take a local measurement or a joint measurement. After received the two measurements, the receiver can reconstruct the unknown state by performing appropriate unitary operations, then this controlled hierarchical quantum communication is accomplished.

**Key words:** six-qubit cluster state; controlled teleportation; quantum information splitting; hierarchical quantum communication

(责任编辑: 冉小晓)

(上接第 361 页)

## The Application Research of the BP Neural Network in Electronic Nose Classification and Recognition with Different Brands Liquor

CHEN Xiu-li<sup>1</sup>, ZHAO Ai-juan<sup>1</sup>, WEI Shi-qian<sup>2</sup>

(1. School of Chemistry, Zhengzhou Normal University, Zhengzhou He-nan 450000, China;

2. The Editorial Department of Journal, Xuchang University, Xuchang He-nan 450000, China)

**Abstract:** Based on the sensors array made up of MQ3, MQ4, TGS813, TGS2620 four metal oxide semiconductor sensors which are cross sensitive to alcohol gas and organic, the real-time data acquisition was established in this paper, and the method of the steady and dynamic characteristic value extraction was proposed. Combined with BP neural network recognition, three kinds of liquor were conducted classification experiments by the electronic nose system. The results show that the recognition rate of electronic nose system is up to 90.0% under the steady characteristic and 83.3% under the dynamic characteristic for the different brands of liquor.

**Key words:** electronic nose; liquor detection; sensor array; BP neural network; recognition rate

(责任编辑: 刘显亮)