

电子鼻在饮料识别中的应用研究

邹小波, 赵杰文

(江苏大学)

摘 要: 为解决传统的饮料检测所采用的理化分析方法烦琐而实时性差的问题, 研制了一套能够实时、准确地检测饮料散发气味的电子鼻系统。该系统主要由气敏传感器阵列和数据处理软件组成, 并采用氮气作为载气以减少测试环境因素的影响。为了提高信噪比, 从每个传感器与气体反应曲线中提取了 4 个特征值, 然后用主成分分析法和 BP 神经网络对样本特征值进行处理。识别结果表明, 这种检测方法快速、准确, 识别正确率高达 95.2%。

关键词: 电子鼻; 识别; 应用; 饮料

中图分类号: TP212.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-2689(2002)03-0146-20

电子鼻是 20 世纪 90 年代发展起来的一种新颖的分析、识别和检测复杂臭味和挥发性成分的人工嗅觉系统^[1~4]。它与普通化学分析仪器(如色谱仪、光谱仪、毛细管电泳仪)等不同, 得到的不是被测样品中某种或某几种成分的定性与定量结果, 而是样品中挥发成分的整体信息, 也称“指纹”数据。这人与动物的鼻子是一样的, 人与动物的鼻子闻到的就是目标的总体气息。它不仅可以根据各种不同的气味测到不同的信号, 而且可以将这些信号与经学习建立的数据库中的信号加以比较, 进行识别判断。由于它具有类似鼻子的功能, 可用于识别气味, 鉴别产品真伪, 控制从原料到产品的整个生产过程的工艺, 从而使产品质量得到保证。

饮料是人们的日常消费品, 其质量的稳定与否, 不但影响生产厂家的效益, 而且还会影响到人们的身体健康。生产厂家和质量监督部门对其检测很严, 目前的检测方法主要有化学分析方法和物理化学分析。现在饮料厂家和质检部门主要用化学分析方法对当天生产的成品进行抽样检测来控制质量, 而质量检测部门对样品质量进行抽查时通常同时用到化学分析方法和物理化学分析。化学分析方法很烦琐, 实时性差, 而物理化学分析需要比较贵重的仪器(如液相色谱仪), 并且对样品的提取、制备和仪器操作技术要求都较高, 不适应快速分析的需要。然而, 在生产工艺一定的情况下, 所生产的饮料化学成分是一定的, 其散发的气味也应当是一定的。不同的饮料, 所散发的气味不同。本研究开发了一套电子鼻系统, 并应用该系统对可乐、橙汁、雪碧几种常见的饮

料进行了快速、实时的区分, 为以后开发自动监测饮料生产过程和产品质量的电子鼻设备作了铺垫。

1 电子鼻系统

图 1 为所研制的电子鼻的照片, 其主要由 2 部分构成: 与气体反应的硬件部分和数据处理分析的软件部分。硬件包括传感器阵列和测试装置, 图 2 为电子鼻硬件的结构框图。测试传感器阵列由 8 只日本费加罗公司生产的 SnO_2 气敏传感器(TGS813, TGS821, TGS822, TGS825, TGS880, YGS812, TGS824, TGS822TF)组成。测试装置包括机械装置和电路 2 部分。其中机械装置包括真空泵、带风扇的试验箱、载气供给系统(压缩氮气和气体过滤器)、试样瓶以及相应的气路等, 电路包括数据采集电路板、计算机。

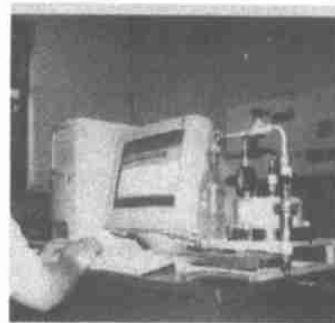


图 1 电子鼻系统的照片

Fig 1 Photo of the electronic nose system

通过取样计对待测饮料取样后, 注入到式样瓶中, 同时把滤清后的载气(氮气)通入试样瓶, 饮料样本的挥发气味就被载气带入试验箱, 在风扇的作用下与试验箱中的气体充分混合, 使每个传感器周围的气体浓度都一样。待测气体在试验箱中与传感器阵列反应, 产生电信号, 通过采集电路把数据采集到

收稿日期: 200112206

基金项目: 江苏省自然科学基金资助项目(BK2001088)

作者简介: 邹小波, 男, 硕士, 镇江市 江苏大学生物与环境工程学院, 212013。Email: zou_xiaobo@ujs.edu.cn

计算机中形成数据文件, 供以后进一步数据处理。每次测量后要排放废气并向试验箱中通入洁净空气, 使传感器复原, 即传感器回到未与气体样本反应时的值, 以便下一次测试。

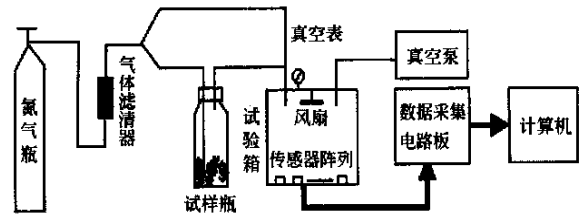


图 2 电子鼻结构原理图

Fig 2 The principle & structure of electronic nose

2 实验

对可乐、雪碧、橙汁 3 种不同的饮料进行循环测试(即可乐 雪碧 橙汁 可乐 ...), 每次取 20 mL 的饮料注入式样瓶中, 共循环测量了 7 次。由于所用的载气是压缩氮气, 而同一压缩气瓶中的温度一定, 所以实验时气体温度控制比较好。图 3 为在第 1 次循环测试中对象为可乐时所得的数据曲线, 其中前 100 s 的数据为在与样本气体反应之前传感器的稳定过程。采集这段数据是为了得到传感器空载时的响应值(即对环境气氛的响应值), 以便在以后数据处理中减去传感器对环境响应值, 尽量减少环境因素的影响。由图可以看出 821、822TF 对溶液挥发气体没有什么反应, 而 824 在测试过程中其测试值不稳定, 故以后数据分析中没有考虑这 3 个传感器的测试结果。

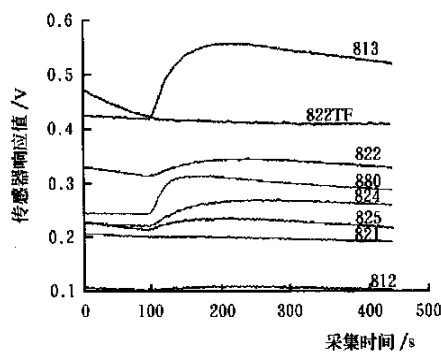


图 3 对可乐的一次测量结果

Fig 3 Measured results of beverage of Cola by using electronic nose

3 数据处理

3.1 数据预处理和特征提取

气敏传感器是以其周围环境气氛为敏感因素的敏感器件, 环境气氛中的氧分压、温度、湿度都能直接影响气敏传感器的性能^[5,6]。故试验测试值为传感

器对环境的响应值与溶液挥发气味的响应值之和。为了消除环境因素对气敏传感器的影响, 将试验测试值减去环境响应值便得溶液挥发气味响应值(单位: V), 这个过程称为数据预处理。这样, 前后试验才可以比较。图 4 是对采集的测试数据经预处理后的曲线。经过反复比较, 最后决定从数据曲线中分别提取最大值(max), 最大微分值(Kmax), 全段数据的平均值和稳定值(最后 50 s 内的平均值)作为特征量(图 5)。这样, 每个样本通过 4 个传感器可得到 $4 \times 5 = 20$ 个特征值, 他们分别用 $p_1 \sim p_{20}$ 表示。

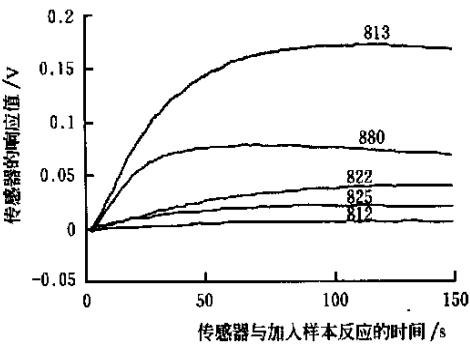


图 4 传感器对样本的响应值随时间的变化曲线

Fig 4 The curve for the gas sensor array reaction versus time

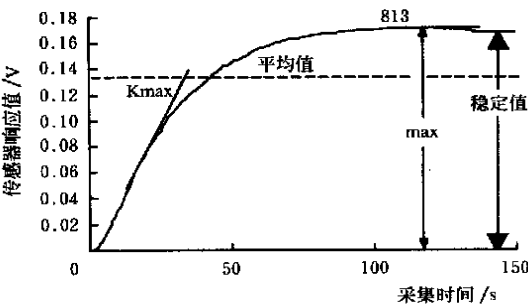


图 5 数据特征提取

Fig 5 Picking up characteristics of data

3.2 主成分分析和人工神经网络分析

3.2.1 主成分分析

由于在低维空间做系统分析比高维空间容易得多, 进行了降维处理, 通过主成分分析发现, 前 3 个主成分, 贡献率分别为 68.59%, 21.13%, 4.17%, 累计贡献率为 93.89%, 这说明仅取前 3 个主成分所对应的特征向量(简称主轴)决定的三维子空间就能够充分精确地拟合原数据(图 6a)。图 6b 是二维分析结果, 从图中可以看出橙汁与其它两种饮料有明显的区别, 事实上, 橙汁的气味与可乐和雪碧有明显的差别, 这与事实相符。但从 6b 可以看出雪碧和可乐的区分将是很困难的, 可能由于传感器阵列中

传感器太少, 没能测出可乐与雪碧的差别, 事实上, 可乐与雪碧所发出的气味差别不很大, 所以没有能

够区分开来也是正常的。

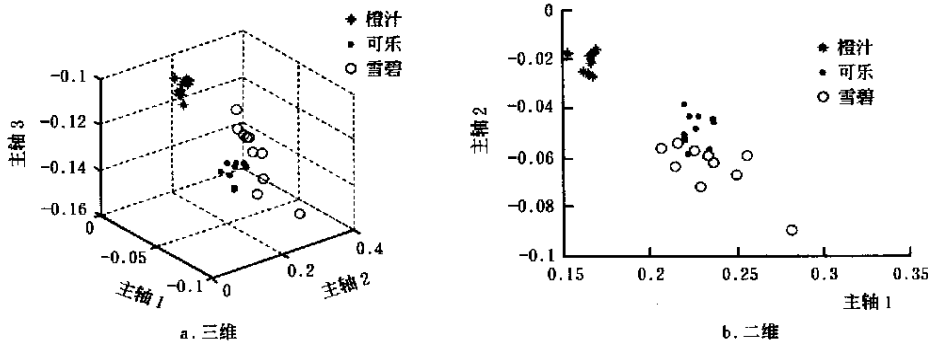


图 6 对 3 种饮料二、三维成分分析结果

Fig 6 Results of principal component analysis of the gas sensor array for three different beverages by three dimensional results and two dimensional results

3 2 2 神经网络分析

由于传感器的响应值与所测的气味成分之间的关系非常复杂, 很难用明确的数学关系表达^[2, 7, 8], 因此采用神经网络技术建立传感器阵列响应信号与测量液体之间的映射关系。这里采用 BP (Back2 Propagation) 来建立它们之间的关系, 即将传感器 20 个特征值作为网络输入 (20 个输入节点), 3 种液体分别对应一个输出节点 (3 个输出节点)。经反复实验选网络隐层单元数为 9, 学习因子为 0.025, 动态因子为 0.035, 最大训练次数为 20 000 次。图 7 为神经网络的拓扑结构。最后结果是, 网络训练好后, 网络的识别正确率为 95.2%。系统每检测一次样本的时间为 3 min 左右, 其中主要用于采集传感器与气体反应过程的数据。

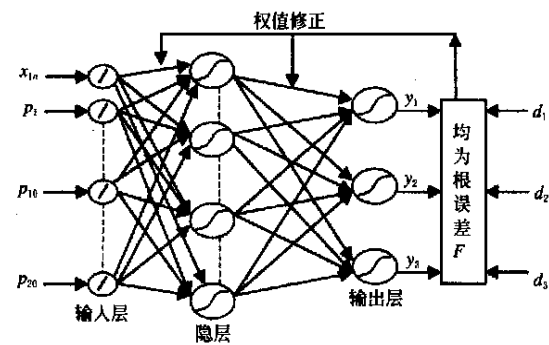


图 7 BP 神经网络的拓扑结构

Fig 7 Topological structure of BP neural network

4 结 论

建立了一套用于饮料测试的电子鼻系统测试装置, 该装置模拟人的嗅觉系统, 能快速准确的区分 3 种不同的饮料 (可乐、雪碧、橙汁)。对传感器数据进行预处理, 以减少环境对传感器测试结果的影响, 从

传感器与气体反应的曲线中提取 4 个特征值作为以后识别分析。主成分分析结果可以看到不同饮料之间区分得比较开, 神经网络的识别正确率为 95.2%。以上研究虽然得到较好的结果, 但由于所研制的电子鼻还处于实验室阶段, 还有许多值得进一步研究的问题, 如传感器阵列的优化、特征提取的算法、模式识别的算法等。在此基础上将进一步开发自动监测饮料生产过程和产品质量的电子鼻设备。

[参 考 文 献]

[1] 吴守一, 邹小波. 电子鼻在食品行业中的研究进展[J]. 江苏理工大学学报, 2000(6): 13~ 17.

[2] Julian W Gardner, Philip N Bartlett. Electronic nose: Principles and Applications[M]. Oxford University Press, 1999: 245.

[3] Gardner J W, Bartlett N. A brief history of electronic nose[J]. Sensors and Actuators B, 1994(18- 19): 211 ~ 220.

[4] 郭文川, 朱新华, 郭康友. 果品内在品质无损检测技术的研究进展[J]. 农业工程学报, 2001(5): 1~ 5.

[5] 邹小波, 方如明, 蔡建荣. 人工嗅觉系统及其在卷烟烟气中的研究[J]. 江苏理工大学学报, 2000(5): 1~ 4.

[6] 邵应清, 邹小波. 厚膜 SnO₂ 气体传感器的嗅觉特征提取与处理[J]. 传感器技术, 2000(6): 15~ 17.

[7] Yan Weiping, Diao Chengfen, et al. The study of gas sensor array signal processing with improved BP algorithm[J]. Sensors and Actuators B, 2000(66): 283~ 285.

[8] 高大启, 吴守一. 人工嗅觉研究进展及其在食品香气评定中的应用展望[J]. 农业机械学报, 1998(4): 167~ 172.

[9] GopeI W, Schierbaum K D. SnO₂ sensors: current status and future prospects[J]. Sensors and Actuators B, 1995(26- 27): 1~ 12.

[10] Lee K, Hong H K, et al Electronic nose system with micro gas sensor array[J]. Sensor and Actua2 tors B, 1996(35~ 36): 338~ 341.

Electronic Nose and Its Application in Beverage Recognition

Zou Xiaobo, Zhao Jiewen

(College of Biological and Environmental Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

Abstract: The traditional chemical2physical analyzing method for beverage inspection is troublesome and inefficient. Recently, a novel electronic nose system was developed, which can inspect the odorant from beverage quickly and accurately. This system is mainly composed of a gas sensor array and a data process2ing apparatus. In order to minimize the effect of inspecting environment, nitrogen was used as carrier gas, which could carry the odorant from the sample vessel into the sensor chamber. Four feature parameters were picked up from each sensor reacting curve to improve the rate of Signal2to2Noise. Moreover, the principal component analysis (PCA) and the back2propagation (BP) neural network were used to identify beverage samples. The results demonstrate that this inspecting method is efficient and the recognition rate is up to 95. 2%.

Key words: electronic nose system; recognition; application; beverage

(上接第 131 页)

6 参考文献只择最主要的著录, 未公开发表的资料请勿引用。欢迎参考了解本刊已发表的有关成果。请按国标规定的格式著录参考文献。

8 本刊编委会及编辑部将向有关院士、专家及本刊编委组稿、特约稿, 来稿要求及发表费用同样遵循本刊要求。

其他要求请参照本刊 2001 年第 1 期英文辑和本期刊登的“投稿须知”。

关于向国外宣传介绍中国农业工程院校和科研机构的事宜

本期英文版, 继续向国外选择介绍中国部分知名农业工程院系及科研机构。对于 2001 年第 1 期已做过一次介绍的单位, 若愿意再宣传, 可优惠刊登。对于没有宣传的单位, 若愿意宣传, 请速与编辑部联系。介绍图片资料要求如下:

11 介绍篇幅以 1~ 2 个 16 开彩页为限, 提供所要介绍的彩色照片及英文介绍材料, 包括图片文字说明。

21 介绍内容由各单位自定, 可以介绍本单

位的特色、规模、重点学科、博士点、博士生导师及专家教授、主要的教学和科研成果、与国内外专家的学术交流与合作等。总之, 把你们最想宣传的传播出去。

31 宣传费用标准: 介绍一页收取 2000 元, 介绍二页收 3500 元。

41 欲介绍的院校请务必于 2002 年 8 月 10 日前将介绍材料寄至本编辑部。

请各院校负责人尽早准备, 也请本刊编委协助组稿、推荐介绍单位和提供寄送英文期刊的国外院校、科研机构和文献检索数据库等通讯地址。

来稿请寄: 北京市朝阳区麦子店街 41 号
《农业工程学报》编辑部

邮 编: 100026

Em ail: Transcsae@agri.gov.cn;
tcsae@sohu.com

联 系 人: 王应宽

联系电话: 010265929451,
65910066 转 2503, 3503