

基于电子舌鉴别的传感器阵列优化方法研究

Research on optimization method of sensor array based on electronic tongue identification

王艳芬

WANG Yan-fen

(广东工贸职业技术学院, 广东 广州 510510)

(Guangdong Polytechnic of Industry and Commerce, Guangzhou, Guangdong 510510, China)

摘要:文章介绍了电子舌技术在食品检测中的发展状况,详细阐述了电子舌的结构组成和工作原理;探讨了传感器种类和特点,讨论了电子舌在食品饮品鉴别分析中的传感器阵列优化过程和方法,并对各种方法进行综合对比,旨在为电子舌鉴别在食品检测中的应用提供参考。

关键词:电子舌;味觉传感器;传感器阵列

Abstract: This paper introduces the development status of the technology of electronic tongue in food detection, expounds the structure and working principle of electronic tongue; investigates the sensor types and characteristics, discusses the electronic tongue in food and beverage identify sensor array optimization process and the method of analysis, and then makes comprehensive comparison of various methods, aiming at electronic tongue identify provide the reference for its application in food detection.

Keywords: electronic tongue; taste sensor; sensor array

味道是评价食品的重要指标之一。传统的检测方法比较多,如物理方法、化学方法以及感官分析法。感官的评价方法只有依靠专业人士来评判,才能准确给出产品的性能评价^[1]。但是培养味道鉴别专业人士需要很大的人力和物力,而且其评判也存在着很大的主观因素^[2]。

电子舌能够模拟人类的味觉,通过运用传感器阵列检测食品中的信号响应,在信号模式的处理作用下或者通过系统地学习,完成食品样品的定量或者定性分析^[3]。电子舌技术主要运用非线性和非稳态系统控制目标对象的品质,能够快速检测样品的特性,非常适合快速发展的食品工业^[4]。中国对电子舌的研究和应用尚处于初期阶段,与国外的差距比较大,但在大型企业与研究所有应用^[5]。

本文主要介绍电子舌技术的发展情况,以此为基础阐述了电子舌的结构和工作原理。重点介绍了电子舌的传感器

种类和特点,并对电子舌的传感器阵列优化方法进行介绍,综合对比了各种优化方法,可为其后续运用提供参考。

1 电子舌基本原理及系统构成

电子舌技术能够模拟人类的味觉系统,运用传感器阵列得到的样品信息,结合模式识别和专家系统,对样品的品质进行检测。电子舌技术具有很多特性,如非专一性、弱选择性以及敏感性等。国外对电子舌技术的研究比较先进,已有电位型电子舌^[6]、伏安型电子舌^[7]以及声波型电子舌^[8]等的相关报道。其系统应用较多的是 MOS 电子舌系统和 Toko 电子舌系统等。

电子舌系统主要是用于液体分析的传感器系统,能够识别和处理单一以及复杂味道能力。这样的装置主要分为传感器阵列、信号采集系统以及模式识别的系统。其中,传感器阵列由感知不同味觉的金属丝线组成,这可以替代人的味觉系统感受被测液体,能吸附不同的味觉分子产生一定的味觉信号,并转换成电信号;信号采集系统能够收集到不同传感器阵列对不同液体的输出信号,采集到的信号存储到计算机;最后是模式识别系统,能够将采集到的信号进行分析和识别。实际上就是模仿味觉感受的原理,运用非线性的传感器阵列采集信号,完成模式识别后,就可以得到不同液体的味觉特征结果。

电子舌技术不仅能够对样品进行定量分析,而且能够对

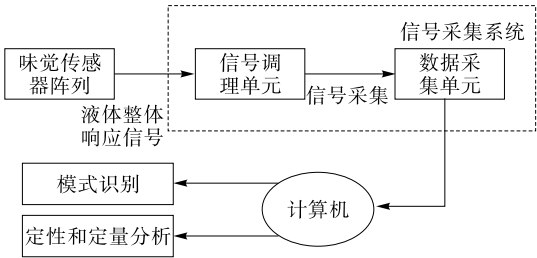


图 1 电子舌的系统构成

Figure 1 The system structure of electronic tongue

作者简介:王艳芬(1970—),女,广东工贸职业技术学院副教授,硕士。E-mail:wang_yfen@163.com

收稿日期:2016-03-05

成分进行一定的测量。模式识别方法主要有主成分法^[9]、神经网络法^[10]、最小二乘法^[11]以及优劣判别分析法^[12]等。电子舌系统检测和其他的物理、化学法有很大差异,主要体现在:① 测试对象为液态样品,以总体响应强度作为采集信号,而不是一定组分的浓度;② 传感器阵列采集的信号要经过数学方法的处理;③ 它与生物系统的味觉并不相同;④ 电子舌主要检测目标对象的差异性,并能够进行识别^[13]。

2 味觉传感器阵列的研究

电子舌系统的核心是味觉传感器,目前根据工作原理的不同,分为电位型、伏安型以及阻抗谱型等。

2.1 电位型传感器

电位型传感器主要测量不同膜两端的电势,进而通过电位差分析样品的特性。按照原理的类别分为多通道类传感器阵列和非特异性玻璃传感器阵列两种^[14-15]。多通道类传感器阵列主要运用不同脂类物质作为敏感膜,电极类为类脂膜电极,当有样品通过时,会产生电极的变化。非特异性玻璃传感器阵列主要以硫属玻璃为电极,运用 PVC 薄膜对电位进行检测。电位型传感器主要采用二电极结构,分别是工作电极和参比电极^[16]。

2.2 伏安型传感器

伏安型传感器主要是运用电化学的伏安法,将传感器放入样品测试溶液中,再加上阶跃电势,通过不同溶液中电流的大小来分析目标对象的特性。在伏安型传感器工作过程中,常采用三电极的结构,分别是参比电极、工作电极以及辅助电极^[17-18]。

2.3 阻抗谱型传感器

阻抗型传感器主要利用贵金属电极或碳电极作为所需的工作电极。在工作过程中,以阻抗谱法为基础,在电极上添加导电薄膜,通过测量阻抗谱的不同进行分析,它也采用二电极结构,分别是工作电极和参比电极^[19]。

3 传感器阵列的优化方法

3.1 阵列优化的过程

传感器阵列的优化不仅可以运用尽可能少的传感器完成不同饮料的鉴别分析,而且还能够去除多余的传感器,尽量满足传感器阵列的微型化^[20]。

阵列优化的过程主要分为两个步骤:① 对所给定的测试样本,构建传感器的阵列;② 在所选传感器阵列的基础上,运用特征选择和阵列优化的评价准则完成优化。其流程见图 2。

特征选择是必须基于选定的一组特征参数进行的,这组特征参数构成初始特征集。特征参数的选取方法主要分为三类:① 选取表达静态信息的参数^[21];② 选取表达动态信息的参数^[22];③ 静态信息和动态信息相结合、尽可能表达整体信息的参数^[23]。从初始特征参数中挑选出部分最有效的

特征,以降低特征空间维数的过程叫做特征选择^[24-25]。

在实际运用过程中,一般有两种常用的特征选择问题^[26]:① 无约束的组合化,主要是从原始特征集中选出固定数目的特征,使得特征评价准则最优;② 有约束的最优化问题,主要是根据给定的允许准则值,求维数最小的特征子集。

特征选择算法分为非搜索性和搜索性选择方法^[27-28]。非搜索性算法,其主要是通过对初始阵列中的传感器的特征分别进行正态分布、变异系数、相关性、传感器共线性、最终计算等分析和检验,或只执行其中的某几个步骤,来进行特征即传感器的逐步淘汰或筛选^[29-30]。非搜索性特征选择方法虽然特征评价准则各异,但共同之处在于将特征当作标量进行计算,不考虑特征之间的相关性对分类识别的影响,而且过程都较复杂,可操作性差^[31-32]。

搜索性算法将特征当作矢量看待,充分考虑了特征之间的相关性,根据一定的特征评价准则直接初始特征参数集中搜索到最优的特征组合^[33]。大部分算法为搜索性特征算法,工作流程见图 3。

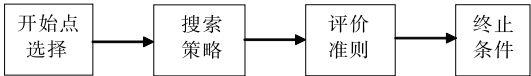


图 3 搜索性算法流程图

Figure 3 The search algorithm flow chart

首先选择特征子集为开始子集;其次选用一定的搜索策略,如顺序前进选择^[34]、广义顺序后退选择^[35]、穷尽搜索^[36]、随机搜索^[37]、遗传算法^[38];评价准则:主要分为根据抽取数据分布的交叠情况,并选择使交叠部分最小的特征集和使分类器在分类测试中具有较好性能的特征子集。最后根据迭代次数确定终止条件^[39]。

3.2 阵列优化的方法

传感器阵列的优化不仅能够减少传感器的能量消耗,并且在一定程度上能够提高系统的稳定性。对传感器阵列优化的方法较多,如方差分析、Wilks 统计量最小原则、线性函数评估、遗传算法、因子分析法以及主成分分析法等。文献^[40]利用方差分析完成传感器的优化,筛选不显著的传感器,从而使得各成分的显著性得到增强。文献^[41]根据威尔克斯统计量最小原则对原来的数据进行逐步判别处理,优化后的数据分类效果更好。文献^[42]根据线性判别法对不同传感器的响应值进行分析,通过降维的方法完成数据之间的平方差,确定最优结果。对于遗传算法的运用,主要选取初始参数,然后通过逐步迭代完成参数的优化,计算量比较大,通常需要对遗传算法进行改进^[43]。除了上述算法外,文献^[44]运用因子分析法对采集到的数据进行分析,进一步完善了传感器阵列的优化方法,并简化了模型。

传感器阵列的优化能很好地解决数据的冗余以及环境因子不敏感的因素,鉴于此传感器的阵列优化正受到诸多学者的关注和研究。但上述算法还需要结合实际的对象,区别对待运用,同时也为相关研究提供了一定的参考。

4 展望

随着科技的发展,纳米技术、精密加工技术等逐渐运用

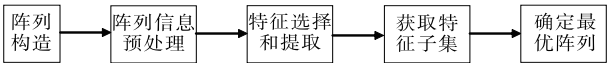


图 2 阵列优化流程图

Figure 2 Array optimization flow chart

到电子舌的研究开发中,其运用范围会得到进一步的推广。但是目前电子舌的体积较大、造价昂贵,这方面应该得到设计人员的重视。因此可以预见造价便宜、体积小的电子舌将会在食品检测、医学诊断等中发挥重要的作用。

参考文献

[1] 刘晶晶. 基于传感器阵列的玉米汁饮料智能检测方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013: 20-22.

[2] 贾洪峰, 梁爱华, 何江红, 等. 电子舌对啤酒的区分识别研究[J]. 食品科学, 2011(24): 252-255.

[3] 王莉, 惠延波, 王瞧, 等. 电子舌系统结构及其检测技术的应用研究进展[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2012, 33(3): 85-90.

[4] 常志勇. 基于仿生电子鼻的肉品新鲜度多信息融合识别技术[D]. 长春: 吉林大学, 2013: 15-18.

[5] 田晓静. 基于电子鼻和电子舌的羊肉品质检测[D]. 杭州: 浙江大学, 2014: 14-16.

[6] WINQUIST F, LUNDSTROM I, WIDE P. The combination of an electronic tongue and an electronic nose[J]. Sensors and Actuators B, 1999, 58(1): 512-517.

[7] KIKKAWAY, TOKO K, YAMAFUJI K. Taste sensing of tomatoes with a multichannel taste sensor[J]. Sens Materials, 1993(1): 83-90.

[8] RUDNITSKAY A L A, SELEZNEV B, VLASOV Y. Recognition of liquid and flesh food using an electronic tongue[J]. Internat J. Food Sci. Technol., 2002, 37(4): 375-385.

[9] 戴鑫, 于海燕, 肖作兵. 电子鼻和电子舌在饮料酒分析中的应用近况[J]. 食品与发酵工业, 2012(8): 114-118.

[10] JIA Peng-fei, TIAN Feng-chun, FAN Shu, et al. A novel sensor array and classifier optimization method of electronic nose based on enhanced quantum-behaved particle swarm optimization[J]. Sensor Review, 2014, 34(3): 304-307.

[11] 高利萍, 王俊, 崔绍庆. 不同成熟度草莓鲜榨食品的电子鼻和电子舌检测[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2012(6): 715-724.

[12] 王俊, 姚聪. 基于电子舌技术的葡萄酒分类识别研究[J]. 传感技术学报, 2009(8): 1 088-1 093.

[13] 张哲, 佟金. 电子鼻和电子舌在食品检测中的研究和应用[J]. 华中农业大学学报, 2005(S1): 25-30.

[14] 黄星奕, 张浩玉, 赵杰文. 电子舌技术在食品领域应用研究进展[J]. 食品科技, 2007(7): 20-24.

[15] 洪雪珍. 基于电子鼻和电子舌的樱桃番茄汁品质检测方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2014: 18-22.

[16] 高瑞萍, 刘辉. 电子鼻和电子舌在食品分析中的应用[J]. 肉类研究, 2010(12): 61-67.

[17] 葛宗年. 仿生电子舌系统及其应用研究[D]. 吉林: 东北电力大学, 2010: 22-25.

[18] WANG Xiao-na, MENG Max Q-H, HU Chao. A localization method using 3-axis magnetoresistive sensors for tracking of capsule endoscope[C]//Conference Proceedings; Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. [S. l.]: IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2007: 2 522-2 525.

[19] 高利萍. 基于电子鼻和电子舌的草莓鲜榨汁的检测[D]. 杭州:

浙江大学, 2012: 19-27.

[20] 吴瑞梅, 赵杰文, 陈全胜, 等. 基于电子舌技术的绿茶滋味品质评价[J]. 农业工程学报, 2011(11): 378-381.

[21] 牛海霞. 电子舌在现代食品科学技术中的应用[J]. 食品科技, 2007(8): 26-30.

[22] 吴从元, 王俊, 肖宏, 等. 纯牛奶品牌识别中电子舌传感器阵列优化[J]. 农业机械学报, 2010(10): 138-142, 158.

[23] HOSSAIN E M, RAHMAN G M, FREUND M S, et al. Fabrication and optimization of a conducting polymer sensor array using stored grain model volatiles[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(11): 2 863-2 873.

[24] 黄星奕, 戴煌, 徐富斌, 等. 电子舌对橙汁感官品质定量评价研究[J]. 现代食品科技, 2014(5): 172-177.

[25] 韩方凯, 黄星奕, 穆丽君, 等. 基于电子舌技术的鱼新鲜度定性、定量分析[J]. 现代食品科技, 2014(7): 247-251, 267.

[26] 周海涛, 殷勇, 于慧春. 劲酒电子鼻鉴别分析中传感器阵列优化方法研究[J]. 传感技术学报, 2009(2): 175-178.

[27] 胥勋涛, 田逢春, 杨先一. 医用电子鼻气体传感器阵列优化方法[J]. 传感器世界, 2009(5): 17-20.

[28] 赵煜. 基于电子舌和几种神经网络模型的金鱼养殖水检测研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013: 8-14.

[29] 李文敏, 吴纯洁, 艾莉, 等. 基于电子鼻、电子舌技术实现中药性状气味客观化表达的展望[J]. 中成药, 2009(2): 282-284.

[30] 范佳利, 韩剑众, 田师一, 等. 电子鼻和电子舌在乳制品品质及货架期监控中的应用研究[J]. 食品工业科技, 2009(11): 343-346.

[31] 易宇文, 范文教, 贾洪峰, 等. 基于电子舌的微冻鲢鱼新鲜度识别研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(2): 142-145.

[32] 赵洁, 于海燕. 电子鼻与电子舌在饮料品质评价中的应用[J]. 上海应用技术学院学报: 自然科学版, 2014(2): 113-117.

[33] 张航, 赵松林, 陈卫军, 等. 电子舌传感器快速检测油茶籽油中掺杂棕榈油[J]. 食品科学, 2013(14): 218-222.

[34] 陈全胜, 江水泉, 王新宇. 基于电子舌技术和模式识别方法的茶叶质量等级评判[J]. 食品与机械, 2008, 24(1): 124-126.

[35] 林科. 电子舌研究进展及其在食品检测中的应用研究[J]. 安徽农业科学, 2008(15): 6 602-6 604.

[36] 陈冬梅, 周媛. 电子舌技术及其在食品工业中的应用[J]. 现代农业科技, 2010(7): 26-29, 31.

[37] 谈国风, 张根华, 沈宗根. 电子舌在乳制品质量控制中的应用[J]. 食品科技, 2011(2): 280-284.

[38] 刘瑞新, 吴子丹, 李学林. 电子舌在药学领域的应用[J]. 中药与临床, 2011(5): 61-64.

[39] 王兴亚, 庞广昌, 李阳. 电子舌与真实味觉评价的差异性研究进展[J]. 食品与机械, 2016, 32(1): 213-216, 220.

[40] 张红梅, 王俊. 电子鼻传感器阵列优化及其在小麦储藏年限检测中的应用[J]. 农业工程学报, 2006, 22(12): 164-167.

[41] 王晓亮, 刘海燕. 电子鼻传感器阵列优化及其在醋的分类中的应用[J]. 传感器世界, 2010(11): 13-15, 4.

[42] 费雅君, 白雪, 康小红. LDA 优化电子鼻传感器阵列的研究[J]. 食品与机械, 2012, 28(1): 97-100.

[43] 王智毅, 郑丽敏, 方雄武, 等. 电子鼻传感器阵列优化对猪肉新鲜度法的检测[J]. 肉类研究, 2015(5): 27-30.

[44] 束栋鑫, 杨铭, 梅从立, 等. 固态发酵过程电子鼻系统传感器阵列优化研究[J]. 中国农机化学报, 2016(4): 249-253.