

基于电子鼻的猪肉新鲜度的检测

周红标, 张宇林, 李珊, 夏云

(淮阴工学院电子与电气工程学院, 江苏淮安 223003)

摘要: 为了探索电子鼻对猪肉新鲜度检测的可能性, 以 STM32 和 CC2430 为核心设计了新型无线电子鼻, 并对 5 种不同新鲜度的猪肉样品进行了分析。对数据进行平滑处理后提取稳态响应值, 并分别利用主成分分析和概率神经网络建立新鲜度识别模型。结果表明, 主成分分析的前 2 个主元累计贡献率达 92.79%, 分类效果明显; 概率神经网络模型识别率达到 100%。

关键词: 电子鼻; 猪肉新鲜度; 主成分分析; 概率神经网络

文章编号: 1673-9078(2013)6-1386-1389

Detection of Pork Freshness using a Novel Wireless Electronic Nose

ZHOU Hong-biao, ZHANG Yu-lin, LI Shan, XIA Yun

(Faculty of Electronic and Electrical Engineering, Huaiyin Institute of Tech., Huai'an 223003, China)

Abstract: The detecting possibility of a novel wireless electronic nose were explored for 5 different freshness pork samples, which was designed with the STM32 and CC2430. Data processing included extracting the steady-state response after smoothing, and using principal component analysis and probabilistic neural network to establish model for freshness recognition. The results showed that contribution rate of the first two principal components total reached 92.79%. Classification effect is obvious and the identification rate of probabilistic neural network model achieved 100%.

Key words: electronic nose; pork freshness; principal component analysis; probabilistic neural network

猪肉等肉制品在加工、运输、贮存和货架销售过程中, 卖家、管理部门和买家都需要对其新鲜度进行检测, 因为, 由于外界环境、微生物等的作用, 肉制品会腐败变质, 产生不良风味, 致使品质下降。目前, 检测的主要方法有人工评判和生化方法^[1]。人工感官评价受评判者的身体状况、情绪及环境变化的影响较大, 生化方法费时、费力, 试剂昂贵。电子鼻是模仿人和动物的鼻子, 用于分析、识别、检测复杂气味和挥发性成分的新型仪器, 与常用的分析仪器(如色谱仪、光谱仪等)相比, 电子鼻具有客观、准确、快捷地评价气味, 并且重复性好的特点^[2]。电子鼻采用气敏传感器阵列, 结合嵌入式系统设计和神经网络模式识别算法, 能够对混合气体中的气体成分进行定性或定量分析, 在食品加工和检验、医疗诊断、毒气检测和控制领域有着广泛的应用^[3-6]。

本文筛选 3 个响应和恢复时间较快、灵敏度好、特性各异、长期稳定性好的 TGS8xx 系列气敏传感器, 将其与温湿度传感器一起组成传感器阵列。并以 STM32 作为系统的核心控制器, 配合 CC2430 实现无

线检测。上位机利用虚拟仪器软件 LabVIEW 搭建数据采集、数据回放、数据预处理、特征提取和模式识别的综合应用平台, 并将基于 MATLAB 的主成分分析和概率神经网络算法集成到 LabVIEW 当中^[7]。对 5 种不同新鲜度的样品进行处理, PCA 和 PNN 的实验结果都表明了本文设计的电子鼻能识别不同新鲜度的肉制品, 识别率 100%。

1 算法原理

1.1 主成分分析

主成分分析是在电子鼻领域应用最多的算法之一。设有 n 个样本, m 个变量, 则原始测量数据的矩阵向量为

$$\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix}$$

将原始数据标准化, 得到标准化的测量值:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j} \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

注: \bar{x}_j 为变量 j 测量值的样本平均值; s_j 为变量 j 测量值的样本标准差。

收稿日期: 2013-01-10

基金项目: 国家自然科学基金(61203056)

作者简介: 周红标(1980-), 男, 讲师, 主要研究方向: 模式识别; 张宇林

(1970-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向: 智能信息处理

将标准化的测量值组成对应的新矩阵向量，并求其协方差矩阵，然后求协方差矩阵的特征值，按大小顺序排列得 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m$ ，对应的特征向量为 $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$ 。所求特征向量按顺序分别称为第 1, 2, ..., m 主成分。各主成分的贡献率按下式进行计算：

$$\lambda_i / \sum_{i=1}^m \lambda_i \quad (2)$$

取前 p 个主成分方向上的得分 z：

$$z = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p) X' \quad (3)$$

主成分分析的实质就是寻找在最小均方意义下最能够代表原始数据的投影方法，通常取原始数据在前 2 个或前 3 个主成分上的投影进行绘图，为保证绘图的可靠性，要求前 2 个或前 3 个主成分的累计贡献率在 80% 以上。

1.2 概率神经网络

概率神经网络(Probabilistic Neural Networks, PNN)是 Specht 博士在 1989 年首先提出的，是一种基于 Bayes 分类规则与 Parzen 窗的概率密度函数估计方法发展而来的并行算法。它是一类结构简单、训练简洁、应用广泛的人工神经网络。在实际应用中，尤其是在解决分类问题的应用中，它的优势在于用线性学习算法来完成非线性学习算法所做的工作，同时保持非线性算法的高精度等特性。

PNN 通常由输入层、模式层、求和层、输出层共 4 层组成，其基本的网络拓扑结构如图 1 所示。

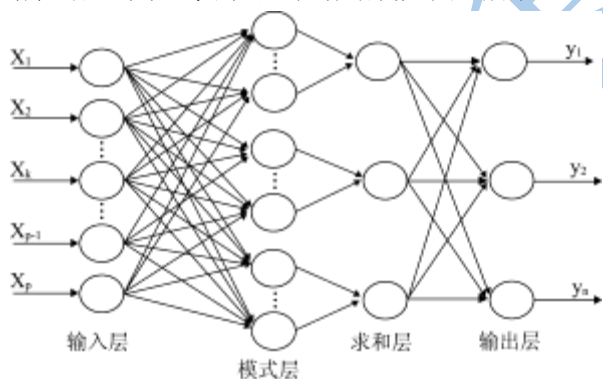


图 1 概率神经网络拓扑结构图

Fig.1 The network topology structure

2 系统介绍

电子鼻系统以 STM32 控制器为核心，包括气敏传感器阵列、温湿度传感器模块、信号调理模块、电源模块、键盘模块、液晶显示模块、Zigbee 无线通信模块、RS232 转 USB 通讯模块等。总体功能是：首先由上位机 LabVIEW 平台发布采集数据命令，通过路由节点将命令由其无线收发模块进行发送；终端节点

接收到命令后，将命令的主机地址与自己地址对照，如果一致，就执行气味数据和温湿度数据采集操作，并对其进行 AD 转换，终端节点的处理单元将数据进行打包，通过其无线收发模块发送到路由节点；路由节点接收数据，并通过 RS232-USB 总线以 Modbus 协议传输给上位机；最后在上位机的 LabVIEW 平台进行实时显示、存储、回放和分析等数据处理操作。也可利用数据处理能力更强大的 MATLAB 软件实验数据预处理、特征提取和模式识别。电子鼻系统结构框图如图 2 所示。

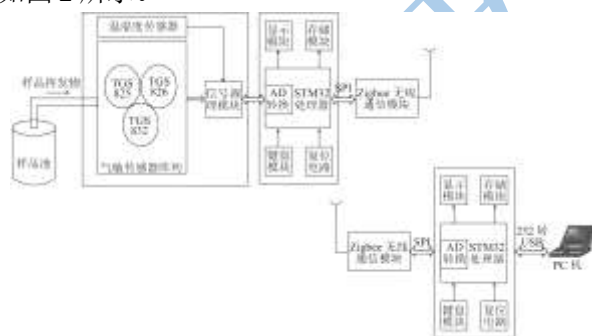


图 2 电子鼻系统结构框图

Fig.2 The structure of the electric nose system

3 样本获取

在超市购置了新鲜猪肉 5 块，每块重约 100 g，分别形成新鲜、空气存放 1 d、冰箱存放 1 d、冰箱存放 2 d、冰箱存放 3 d，共代表 5 种不同新鲜度的样品。实验时将样本置入气味采集装置中，并用保鲜膜密封好，传感器通电加热 5 min 后，进行气味数据采集，每个样本的检测时间为 60 s。为了消除测量数据的漂移现象，每次检测前后，传感器阵列都需要清洗和标准化，时间不少于 100 s。每类样品重复检测 5 次，5 种不同新鲜度样品总计得 25 个样本。

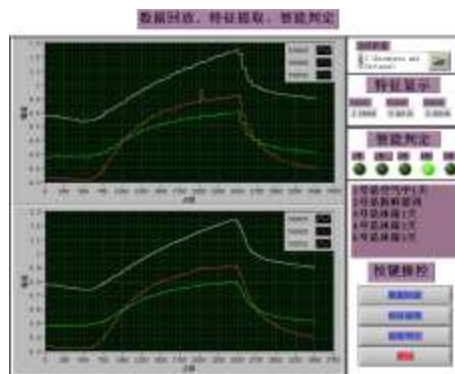


图 3 数据特征提取

Fig.3 The detection data by electric nose

电子鼻气味数据的预处理、特征提取及模式识别是基于 LabVIEW 和 MATLAB 软件平台完成。如图 3 所示，为冰箱存放 1 d 样品某次测试时传感器信号强

度图,其中横坐标是数据采集点数,纵坐标是响应强度,每条曲线代表一个传感器在采样时间内的响应值变化,3个传感器共有3条响应曲线,分别以不同的颜色作标记,此外还有温湿度传感器显示的当前温度值和湿度值。

本文采用移动平均法对信号进行平滑处理,上面是预处理之前的曲线,可以观察到毛刺或抖动,平滑滤波后的曲线光滑、干净,消除了锯齿形的阶梯失真干扰,然后提取了稳态响应值作为特征,3个传感器能提取3个特征值供模式识别。

4 结果分析

实验时对每个样本提取3个稳态值,25个样本共计得到 25×3 个特征值,对其进行主成分分析,样本前8个主成分累计贡献率见表1。由表1可见,前2个主成分累计贡献率达92.79%,而这之后,随着主成分数量的增加,累计贡献率增加相当缓慢,所以每个样本的电子鼻气味数据可以用前2个主成分代替。

表1 前8个主成分及其累计贡献率

Table 1 Contribution rates of the components PC1-PC8

主成分	贡献率/%	累计贡献率/%
PC1	81.45	81.45
PC2	11.34	92.79
PC3	4.86	97.65
PC4	1.25	98.90
PC5	0.48	99.38
PC6	0.25	99.53
PC7	0.16	99.79
PC8	0.05	99.84

选用前2个特征值对应的特征向量作为第1和第2 主轴来构成主成分分析的变换矩阵以进行降维分析,图4为25个测试样本经第1和第2主轴降维变换后所得到的散点图。

从图4中可以看出,选用前2个特征向量作为主轴进行分析,分类效果明显,5种不同新鲜度的样品实现了分类,因此运用主成分分析法进行新鲜度检测是可行的。

此外,还构建了基于 PNN 的识别模型。在建立模型之前,首先给特征数据集中的每个样本附上标签,其中空气中存放一天的猪肉定义为1号标签,新鲜鱼肉定义为2号标签,冰箱存放一天的鱼肉定义为3号标签,冰箱存放两天的鱼肉定义为4号标签;冰箱存放三天的鱼肉定义为5号标签;然后从25个样本中每种样本抽取3个共15个样本组成训练集,剩下的10个样本组成测试集,对训练集和测试集统一采用[0,1]

归一化。

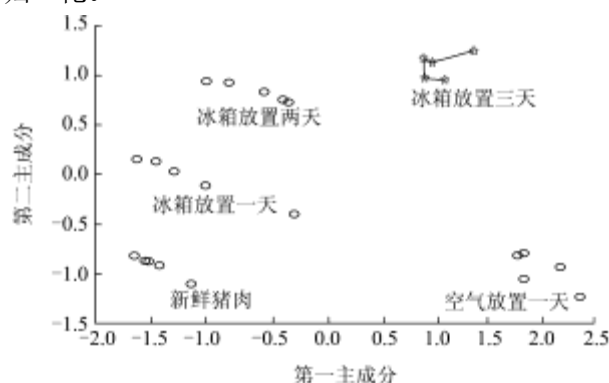


图4 第1、2主轴的主成分鉴别结果

Fig.4 Discrimination results of the main components

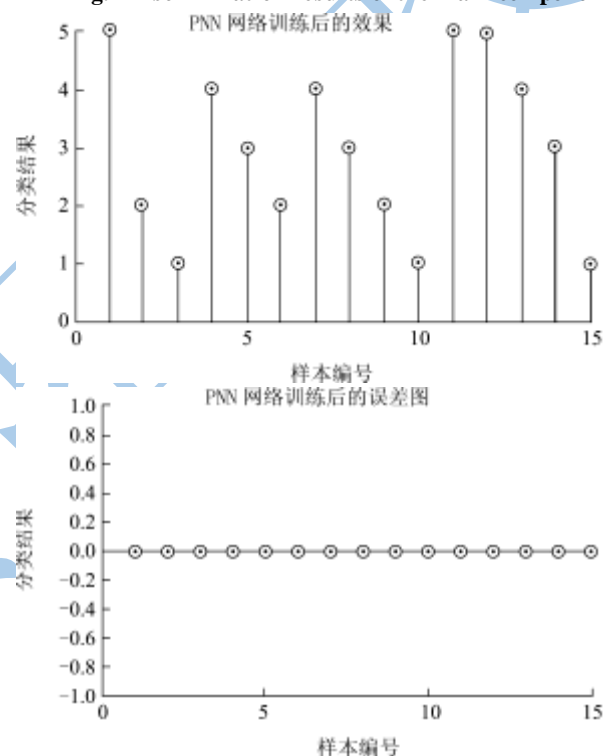


图5 PNN网络训练后的效果图

Fig.5 The detection results after PNN network training

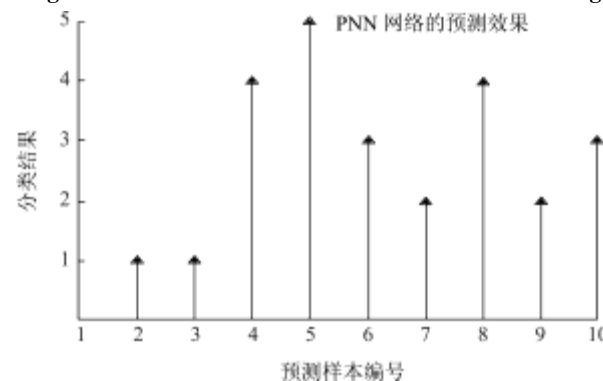


图6 PNN识别效果图

Fig.6 Detection results based on PNN discrimination

网络的训练效果如图5所示,15个样本全部训练成功,误差为0。网络的预测效果如图6所示,10个

测试样本也全部被正确识别, 识别率 100%。可见, 基于电子鼻和 PNN 的猪肉新鲜度识别实验是可行的。

5 结论

新鲜度检测主要是使用电子鼻对肉类或肉制品进行新鲜度的识别, 本文将新鲜度列出了四个等级, 希望能够通过气味数据的处理将它们区分开来。通过实验结果可以看出, 无论是 PCA 还是概率神经网络方法都能够较好地将不同等级的鱼肉区分开来, 识别率 100%。但本文还存在些许欠缺: 新鲜度四个等级的划分显得不够, 电子鼻系统自动化程度不高, 模式识别算法还需进一步研究, 算法的无缝集成还有待解决。此外, 商品化传感器价格昂贵, 不利于系统的产业化。

参考文献

[1] Tong Yueying, Chen Donghui, Shi Zhibiao, et al. Study on the application of biological tactile in fast meat freshness

detection [J]. Advances in Natural Science, 2010, 3(2): 170-176

[2] Miguel Peris, Laura Escuder-Gilabert. A 21st century technique for food control: Electronic noses [J]. Analytica Chimica Acta, 2009, 638(6): 1-15

[3] D Luo, H G Hosseini, J R Stewart. Application of ANN with extracted parameters from an electronic nose in cigarette brand identification [J]. Sensors and Actuators B, 2009, 99(3): 253-257

[4] 刘远方, 李阳. 绿茶香气的电子鼻分析方法研究 [J]. 食品科技, 2012, 37: 59-62

[5] 刘辉, 牛智有. 基于电子鼻的鱼粉中挥发性盐基氮检测模型比较 [J]. 农业工程学报, 2010, 26(4): 322-325

[6] 付湘晋, 许时婴, 王璋, 等. 电子鼻检测白鲢鱼腥味 [J]. 浙江大学学报, 2010, 36(3): 316-321

[7] 周红标, 张宇林, 张新荣, 等. 基于虚拟仪器的无线白酒电子鼻的设计 [J]. 电子技术应用, 2012, 38(12): 8-10