

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.04.035

基于 GPRS 的远程检测无线电子鼻系统*

陈新伟¹ 王 俊¹ 沈睿谦²

(1. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310058; 2. 浙江高联仪器技术有限公司, 杭州 311108)

摘要: 针对移动环境的检测需要,设计了一套基于 GPRS 的远程检测无线电子鼻系统,主要包括气敏传感阵列、信号调理模块、微处理器模块、GPRS 模块和远程测控系统 5 部分。对系统的远程通信性能进行测试,发现电子鼻数据发送周期在 400 ms 以上时,系统的通信时延、传输速率和累计丢包率都能满足无线电子鼻检测的要求;利用本系统对采摘后的芒果实施检测研究,得到的香气响应特性曲线清晰、稳定;构建芒果贮藏天数的预测模型,结果发现,对照组逐步回归模型虽然整体预测效果不理想,但对第 4 和 6 天的芒果仍有一定的预测效果,而试验组逐步回归模型、对照组基于线性判别的支持向量机(LDA-SVM)模型和试验组 LDA-SVM 模型对芒果贮藏天数都具有较好的预测效果。

关键词: 无线电子鼻 GPRS 远程测控 线性判别分析-支持向量机

中图分类号: TP212.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)04-0238-08

Wireless Electronic Nose Based on GPRS and Its Application on Mangos

Chen Xinwei¹ Wang Jun¹ Shen Ruiqian²

(1. School of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

(2. Zhejiang Golink Instrument Technology Co., Ltd., Hangzhou 311108, China)

Abstract: In order to meet the needs of quality detection of agricultural products during logistics, a wireless electronic nose (WEN) based on GPRS for applications in the “on-the-go” environment was designed. It consisted of 5 modules which were the sensor-array with 8 MOS sensors, signal processing module, master controlling module, GPRS module and remote monitoring system. The GPRS communication performance of the WEN was tested, it was found that when data transmission cycle exceeded 400 ms, three communication performance indexes of GPRS network which were the time-lag between sending and receiving, packet loss during the transit and transmission rate would meet the demands of detection simultaneously. An application aimed at fresh mangos was taken by using the present WEN, and the obtained profiles of mango aroma were clear and stable. Mango storage prediction models were built with stepwise regression method (SR) and LDA-SVM, respectively, and it was indicated that the SR model of the control group mango had a certain predictive effect only for the mangos stored for 4 and 6 days, the SR model of the experimental group and the LDA-SVM model either of the control group or the experimental group achieved satisfactory predictive effect as a whole.

Key words: Wireless electronic nose GPRS Remote monitoring LDA-SVM

引言

近年来随着物流业的发展,我国生鲜农产品的

流通量逐年增加,如何严格监控农产品在物流环节中的品质演变,采取针对性措施以尽可能保持农产品品质,已成为亟待解决的问题。因此,开发一种适

收稿日期: 2014-06-19 修回日期: 2014-08-04

* 国家自然科学基金资助项目(31370555)和“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAD29B02)

作者简介: 陈新伟, 博士生, 主要从事电子鼻系统开发与应用研究, E-mail: zju-cxw@163.com

通讯作者: 王俊, 教授, 博士生导师, 主要从事农产品品质检测研究, E-mail: jwang@zju.edu.cn

用于农产品在物流环节中的品质检测设备成为必要。

电子鼻是模仿生物鼻的一种人工嗅觉系统,它利用气敏传感阵列的交叉敏感性,将不同的气味分子对其表面的作用转化为可测定的物理信号,实现气体的分析^[1]。电子鼻技术已经广泛应用于诸多领域,尤其在农产品品质劣变的研究中,已经实现了定性和定量的检测效果^[2-8],这表明电子鼻应用于农产品品质检测和控制具有可行性。电子鼻检测具备快速无损、实时和智能化的优势,但传统的电子鼻内部各模块通常以有线方式相连,功耗、体积、布线等方面的制约致使其难以胜任现场或移动环境中的检测任务,必要的人工操作也限制了其应用自动化程度的提高。随着无线通信技术在农业工程上的应用研究得到广泛开展^[9-13],将电子鼻技术与无线通信技术相结合,开发出智能、节能、轻便且适于远程检测的无线电子鼻系统,可以克服传统电子鼻的上述不足,使电子鼻的应用领域得到拓展^[14]。

迄今为止,无线电子鼻系统的研发与应用研究多数以单组分或有限个组分气体检测为目的,并不针对复杂混合气体检测^[14-16]。综合分析后发现,这类研究的另一个共同点是尽管无线通信使得电子鼻系统检测的空间域大为扩张,数据传输的距离依然被限定在“百米”的量级。基于GPRS的传感器信号无线传输、适用于农产品品质异地远程检测的无线电子鼻系统的研究尚未见报道。

为此,本文围绕51单片机和GPRS无线模块进行嵌入式无线电子鼻软硬件的开发,在保证通信性能的前提下,实现现场及移动环境中的检测。为验证系统的实际检测效能,利用系统对采摘后的芒果进行应用试验研究。

1 系统设计

本无线电子鼻系统主要由气敏传感阵列、信号调理模块、微处理器模块、GPRS模块和远程测控系统5部分组成。图1是本系统检测现场部分(系统中不包括远程测控系统的其余部分)的结构示意图。检测现场部分还带有电源、键盘和液晶显示屏等辅助模块,微处理器模块中带有气路控制部分,GPRS模块则自带天线接口和SIM接口。

1.1 气敏传感阵列

MOS气体传感器敏感机理是敏感膜表面的氧化还原反应,因此尽管特定型号传感器对特定种类气体有较高的选择性,但这种选择性不是特异的。针对生鲜农产品特别是水果香气成分的特点^[17-20],并考虑单一传感器的选择性与传感阵列的交叉选择

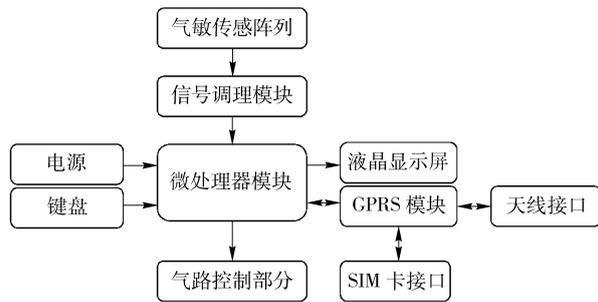


图1 系统现场部分结构示意图

Fig. 1 Sketch of field detecting section

特性,本系统选取8个TGS气体传感器组成气敏传感阵列,它们分别是S1(TGS825)、S2(TGS826)、S3(TGS2600)、S4(TGS2611)、S5(TGS4160)、S6(TGS822)、S7(TGS880)和S8(TGS813),后续可以根据具体需要,从中选择最优的传感器组合。

1.2 微处理器模块和GPRS模块

微处理器模块的设计如图2所示,主要包括STC12C5A60S2单片机、串口电路、实时时钟电路和气路控制部分。

单片机复位后,程序将其单片机管脚1~8置为A/D转换器,8路传感器模拟信号分别送入管脚1~8进行A/D转换,数字化后的传感器信号打包后经串口电路发送至GPRS模块。

气路控制部分中,为了隔离电磁阀F1和F2开关动作对微处理器模块的干扰,在它们与微处理器模块之间采用了光电隔离器,分别由微处理器模块的2路开关量输出端通过光电隔离器间接驱动继电器,控制电磁阀工作,由微处理器模块的另一路开关量输出端驱动继电器,对气泵B1进行控制。按照既定程序或即时指令驱动气路控制部分即可实现检测或清洗状态的控制。

本系统选用华为公司的GTM900-C作为GPRS模块,其核心是西门子公司工业级模块TC35i。图3是TC35i模块与微处理器模块的连接图。TC35i模块与微处理器模块通过串口相连,TC35i模块的TXD0和RXD0管脚分别用于发送和接收数据;此外TC35i模块的IGT和PD管脚分别与微处理器模块普通I/O口P0.6和P0.4相连,分别用于微处理器模块对TC35i模块进行开关机控制和复位操作。微处理器模块也可通过串口发送AT%MSO命令,对TC35i模块执行紧急关机操作,但紧急关机无法进行网络注销。此外TC35i模块还提供一个网络状态指示接口,SYNC引脚的输出脉冲信号用于控制LED灯,作为当前网络连接状态的指示。

下位机所有程序都在KEIL μ Vision3软件下使用C语言实现。

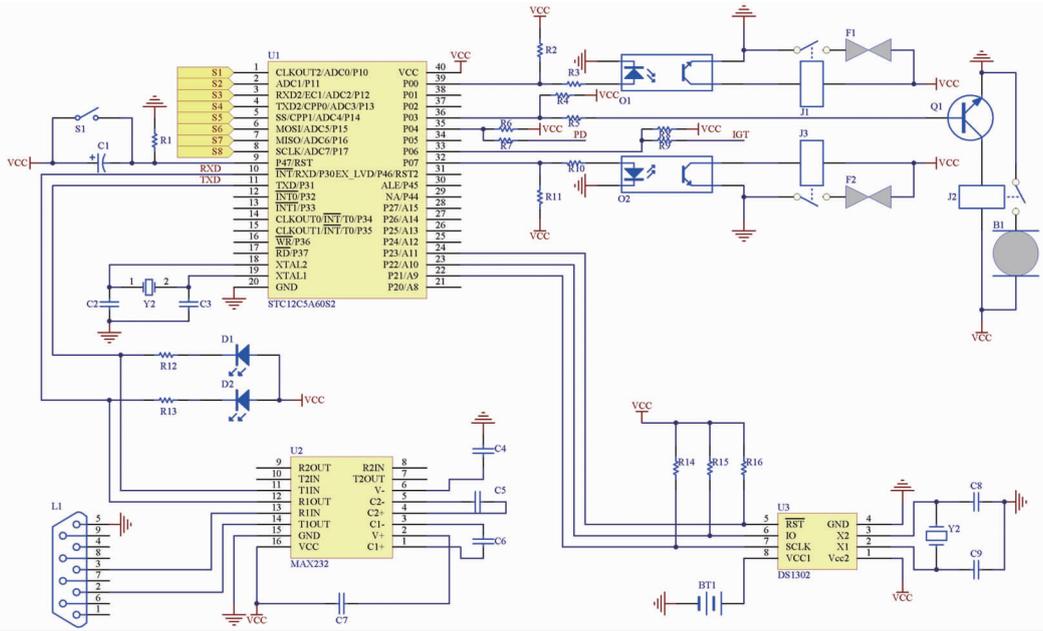


图2 微处理器模块(包括气路控制部分)电路原理图

Fig.2 Schematic circuit of master controlling (including the airflow controlling portion)

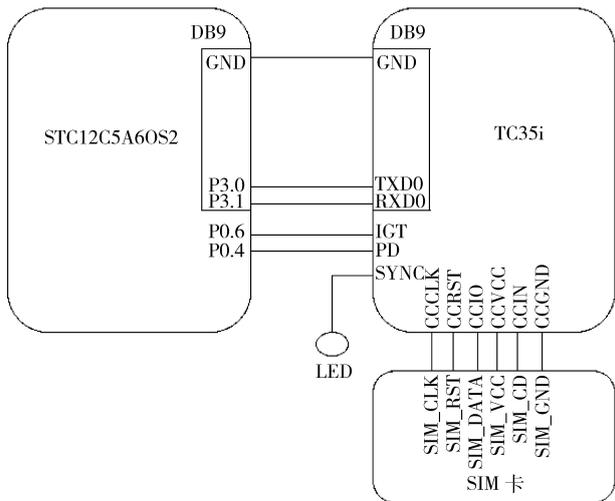


图3 TC35i 模块连接

Fig.3 Connections of TC35i module

1.3 远程监控中心测控系统

本系统以 VB 6.0 和 SQL Server 2000 为工具实现无线电子鼻远程测控系统的开发。远程测控系统的主要功能包括:以 C/S(Client/Server)结构与无线电子鼻的检测现场部分建立实时通信连接;检测参数设置;以数字和图形方式显示数据实时采集过程;数据文件的保存、管理和调用;通过指令系统对无线电子鼻的检测现场部分实施自动或手动控制。图 4 是远程测控系统的数据采集界面。

1.4 系统工作流程

图 5 是系统工作流程图,分为 3 个部分:微处理器模块、GPRS 模块和远程测控系统所在上位机(IP 固定)和用于呼叫和发送短消息的手机。系统上电后,微处理器模块首先初始化,通过 AT 指令配置

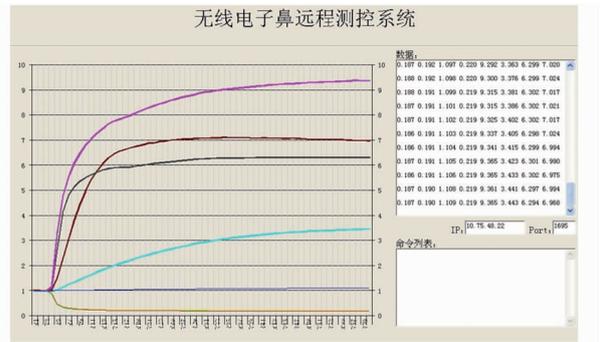


图4 远程测控系统的数据采集界面

Fig.4 Interface of remote monitoring system

GPRS 模块网络位置、远端 IP、端口及串口参数,并绑定 AT 指令限制的手机号码。然后由绑定手机发送短消息 AT 指令“at + gprs”至或呼叫 GPRS 模块 SIM 卡,使 GPRS 模块向远程监控中心发起连接。成功连接后,系统进入数据透传模式,此时从远程测控系统发出指令,经数据透传后由微处理器接收,依据指令执行手动或自动的检测方式;采集的 8 路传感器数据也经数据透传至远程测控系统。在指令执行过程中,微处理器在一轮采集完成时查询是否有停止指令,有则停止当前的执行,没有则继续数据的采集与发送;检测结束后进入等待新指令状态, GPRS 模块退出数据透传模式和断开连接的操作由手机通过发送 AT 指令“+ + +”和“at + gprs = 0”实现。此外,微处理器也可以依据指令控制 I/O 口 P0.6 和 P0.4 的电平变化,分别对 GPRS 模块进行开关机和复位操作。

2 系统通信性能测试

对系统通信性能进行测试,主要考察不同发送

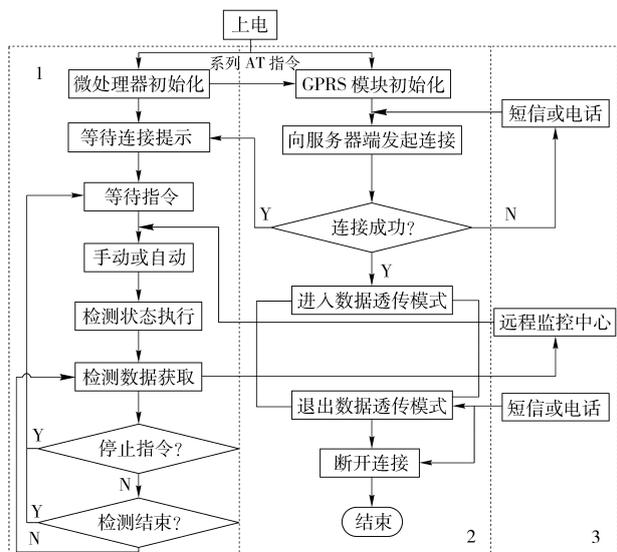


图 5 系统工作流程图

Fig. 5 Working flowchart of system

周期下,通信时延、传输速率和累计丢包率的变化^[21]。在网络拥塞情况各异的若干地点放置检测现场部分进行多次测试,而远程测控系统则安装在浙江温州的 1 台上位机上。1 个电子鼻数据包共包含 8 路电子鼻传感器数据,每一路数据包括小数点在内共占 5 个字节,外加 7 个空格位和 1 个结束符位组成其完整的数据部分,因此采用总共 120 组、每组包含 48 字节数据部分的电子鼻数据作测试。

测试的典型结果如图 6 所示,即不同发送周期下,通信时延、传输速率和累计丢包率 3 项通信性能指标的变化趋势。发送周期在 400 ms 以上时,通信时延维持在 500 ~ 3 100 ms,且时延最大值与最小值基本保持不变;当发送周期小于 400 ms 时,随着发送周期减小时延最大值急剧增加,但最小值基本恒定。随着发送周期的减小,通信的传输速率逐步增大,但即便在 50 ms 的发送周期下,传输速率最大也不超过 4 000 B/s,远低于 GPRS 传输速率 171 200 B/s 的上限,而累计丢包率则始终为 0%。因此,本系统在选取 400 ms 以上发送周期时,可以有效地实现电子鼻数据的稳定实时传输。

3 试验

3.1 试验材料与方法

为了验证本系统的应用效能,利用本系统对采摘后的芒果^[22-23]进行了应用试验研究。

试验用芒果为 2013 年 8 月购自杭州农副产品物流中心的青芒果,采摘到试验时间间隔为 7 d,从中选取大小均匀、(140 ± 10) g 的芒果作为测试对象。将样品随机分为 2 组,其中对照组直接置于温

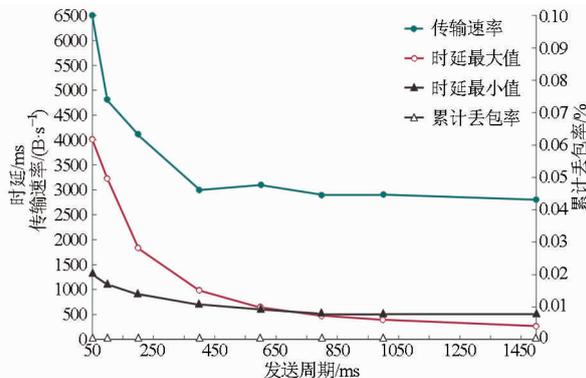


图 6 GPRS 模块通信特性

Fig. 6 Features of GPRS communication

度(27 ± 2) °C、相对湿度 90%、良好通风环境中贮藏。试验组在上述温度和湿度条件下,置于包装箱内码垛后采用固体催化剂进行催熟,24 h 后倒垛再重复上述催熟过程一次,然后取出置于与对照组相同环境中,但与对照组分隔贮藏。

3.2 电子鼻检测

以开始催熟当天为第 1 天,并将第 2、4、6 和 8 天定为检测日,在 2 组样品中分别选取固定的 20 只芒果作为当天的检测对象,根据组别和贮藏天数将每个样品组分别命名为对照组 1、2、4、6、8 和试验组 1、2、4、6、8。

电子鼻检测时,将 1 个芒果整果置于底部铺有 10 g NaHCO₃ 的烧杯(500 mL)内以排除水蒸气对检测的影响,采用双层保鲜膜于室温条件下密封 120 min,使顶空气体平衡。进样时,采用注射器抽取 100 mL 上述顶空气体注入无线电子鼻的气室。传感器检测 80 s 后,用校正气体对传感器阵列和气室进行 110 s 的清洗和校正。

3.3 结果与分析

3.3.1 传感器响应特性曲线分析

传感器阵列对芒果香气的典型响应特性曲线如图 7 所示。图中每一条曲线代表一个传感器响应值的时间变化规律,传感器响应值取当前时刻电压信号值与事先测定的校正稳定状态下电压信号平均值

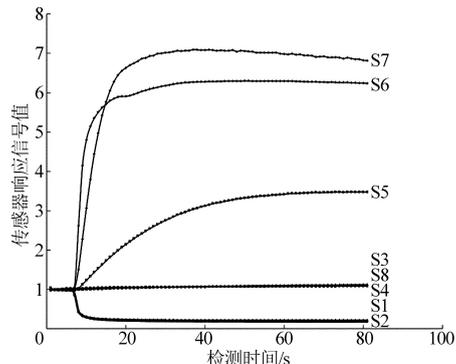


图 7 传感阵列的典型芒果香气响应特性

Fig. 7 Typical response curves of sensor array to mangos

的比值。检测开始时传感器响应值都等于校正稳定状态时的设定值(即1),随着挥发性物质不断在传感器膜表面富集,响应值逐渐增大(或减小),随后趋于平缓,最后达到稳定。其中传感器S1、S2和S4的响应较快,曲线在10~20 s区段即趋于平缓,传感器S5则响应较慢,曲线直到70~80 s区段才达到平稳状态。传感器S3和S8的响应值一直在1附近,表明这2个传感器对芒果香气的响应微弱。

3.3.2 传感器响应信号统计分析

由图7可以看出,检测过程的70~80 s区间内,所有传感器的响应信号曲线均已趋于平稳,因此提取第80秒的传感器响应值作为特征值实施数据分析。为考察检测中传感器信号分布的离散程度和区分显著度,将对照组1、2、4、6和8的电子鼻响应信

号进行统计分析,并以贮藏天数为因素对各个传感器作单因素方差分析,结果列于表1。校正稳定状态下响应信号值均等于1,传感器S1、S2、S4、S5、S6和S7响应信号的均值较远离1,表明它们对样品的反应较强烈;传感器S5、S6和S7的变异系数较大,即响应信号的离散程度较大,表明这些传感器检测的稳定性相对其他传感器较差,但基本处在可接受的范围。

表1中各个传感器的单因素方差分析模型都是极显著的,显著水平 P 均小于0.001,表明不同贮藏天数的芒果可以利用传感器响应信号得到区分。传感器按照 F 值从大到小的排序依次是S1、S2、S4、S6、S7、S5、S3和S8,传感器对不同贮藏天数芒果的区分能力也依此顺序递减。

表1 传感器响应信号统计及单因素方差分析结果
Tab.1 Simple statistics and one-way analysis of variance of sensor signals

参数	传感器编号							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
样品数	100	100	100	100	100	100	100	100
均值	0.278	0.278	1.075	0.305	2.742	4.348	5.246	1.067
标准差	0.022	0.021	0.017	0.022	0.338	0.51	0.525	0.01
变异系数/%	7.91	7.55	1.58	7.21	12.32	11.73	10.00	0.94
F	67.80	64.63	14.02	59.23	20.88	44.44	26.97	7.27
P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

3.3.3 芒果贮藏天数预测模型

为实现本系统对芒果贮藏天数的预测,分别采用线性的逐步回归(SR)分析和非线性的基于线性判别分析(LDA)降维的支持向量机(SVM),对对照组和试验组芒果分别构建预测模型。建模的训练集设置为60(12×5)个样本,验证集为40(8×5)个样本。建模后采用相关系数 R^2 和均方根误差评价模型的整体预测效果,采用平均绝对偏差和平均预测误差分别评价模型对芒果特定贮藏天数的预测精度和预测无偏性,平均绝对偏差越接近零表明预测精度越高,平均预测误差绝对值越接近零表明预测无偏性越好。

图8a和8b分别给出了对照组SR模型的训练集和验证集的预测结果,二者的 R^2 值和均方根误差都大小相当,表明模型具有较好的泛化能力;验证集 $R^2 > 0.88$,但均方根误差接近1 d,表明整体预测效果欠佳。由图8和表2可知,这主要是因为模型对第1、2和8天芒果的预测精度较低,预测无偏性也不理想,但模型对第4和6天的芒果则有一定的预测效果。图8c和图8d分别给出了试验组SR模型的训练集和验证集的预测结果,二者的 R^2 值都大于0.96,均方根误差也都小于0.6 d,从平均绝对偏差

和平均预测误差上看,除了对第6天芒果的预测精度和预测无偏性略不理想外,模型整体上具备较好的预测效果。综合来看,SR模型用于试验组的预测效果要优于对照组。

在Matlab上使用Lib-SVM工具构建一个基于LDA降维的支持向量机模型,其中使用径向基函数作为支持向量机的核函数。图9a和图9b分别给出了对照组LDA-SVM模型的训练集和验证集的预测结果,二者的 R^2 值都大于0.96,均方根误差都小于0.6 d,训练集的 R^2 和均方根误差要优于验证集,表明模型建模效果较好,但泛化能力欠佳,结合表2可知,模型对第1、2和4天芒果具有较好的预测效果,但对第6和8天芒果的预测精度略不理想,由图9b看主要是因为个别样品的预测值与实际值相差较大,但模型整体上具备了较好的预测效果。图9c和图9d分别给出了试验组LDA-SVM模型的训练集和验证集的预测结果,二者的 R^2 值都大于0.97,均方根误差都小于0.5 d,训练集的 R^2 和均方根误差略优于验证集,模型的平均绝对偏差和平均预测误差值与对照组LDA-SVM模型较相近,因此模型对第1、2和4天芒果的预测效果也要优于第6和8天芒果,整体上取得了较好的预测效果。

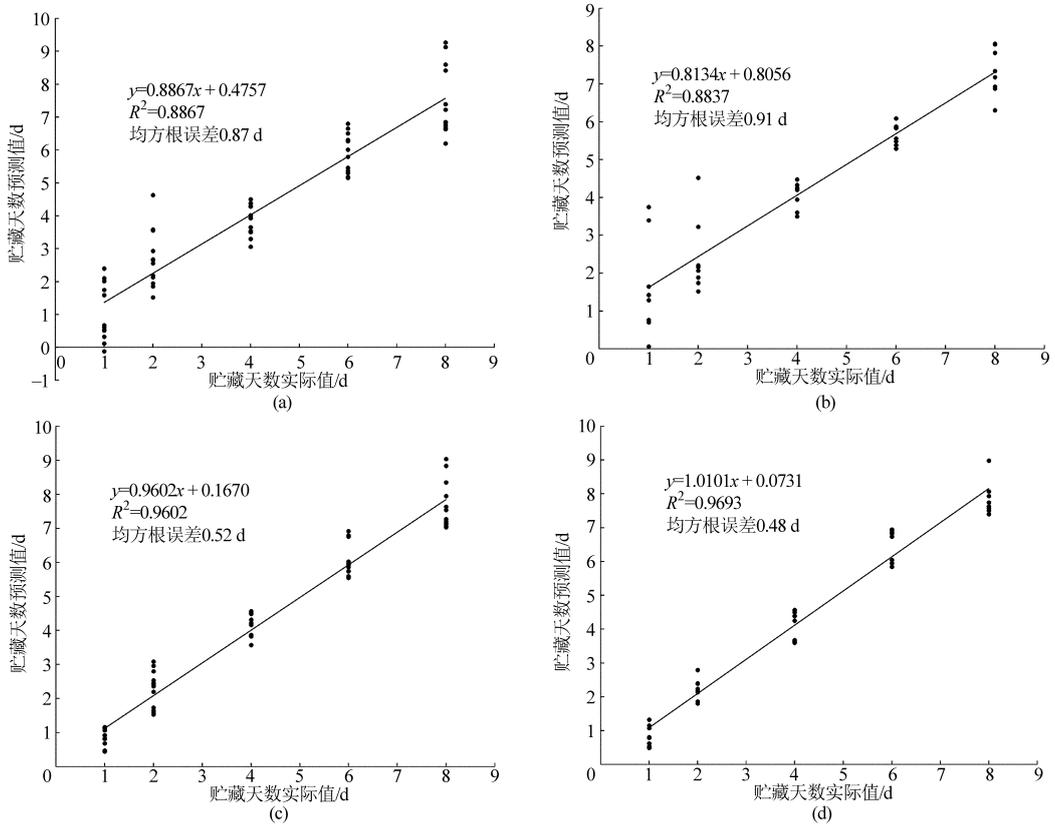


图 8 芒果贮藏天数的 SR 模型

Fig. 8 Stepwise regression models of mango storage

(a) 对照组模型训练集 (b) 对照组模型验证集 (c) 试验组模型训练集 (d) 试验组模型验证集

表 2 基于不同模型验证集的芒果贮藏天数预测结果的平均绝对偏差和平均预测误差

Tab. 2 MAD and MFE of predicted results of mango storage from different models

误差类型	实际贮藏 天数	SR 模型		LDA - SVM 模型	
		对照组	试验组	对照组	试验组
平均绝对偏差	1	0.998	0.291	0.132	0.111
	2	0.629	0.312	0.165	0.106
	4	0.304	0.400	0.183	0.323
	6	0.350	0.570	0.442	0.521
	8	0.707	0.408	0.503	0.436
平均预测误差	1	-0.631	0.150	-0.033	-0.030
	2	-0.418	-0.229	0.087	-0.042
	4	-0.067	-0.127	0.004	0.099
	6	0.328	-0.518	-0.22	-0.194
	8	0.679	0.145	-0.174	-0.343

总的来说, 对照组 SR 模型虽然整体预测效果欠佳, 但对第 4 和 6 天的芒果仍有一定的预测效果, 而试验组 SR 模型、对照组 LDA - SVM 模型和试验组 LDA - SVM 模型对于芒果贮藏天数都具有较好的预测效果; 对照组 LDA - SVM 模型相对其 SR 模型的预测效果有较大的提升, 这表明在对照组中, 使用 LDA - SVM 建模, 可以将线性方法难以利用的有效非线性甄别信息加入到模型中; 试验组使用 SR

模型即可取得与其 LDA - SVM 模型相当的预测效果。

4 结论

(1) 构建了一套基于单片机和 GPRS 的无线电子鼻系统, 主要由气敏传感阵列、信号调理模块、微处理器模块、GPRS 模块和远程测控系统 5 部分组成。8 个 MOS 气体传感器组成气敏传感阵列, 阵列产生的信号经系统检测现场部分数据采集并预处理后, 利用 GPRS 模块以透传模式实现数据向远程测控系统的传输, 并由之接收、显示、保存和管理。

(2) 对系统的远程通信性能进行测试, 发现选取 400 ms 以上的发送周期时, 通信的时延稳定在可以接受的范围内, 丢包率为零, 传输速率需求可以得到满足, 此时系统通信性能达到了无线电子鼻检测的要求。

(3) 为了验证该电子鼻系统的有效性, 设计针对芒果的试验研究, 得到的芒果香气响应图谱清晰、稳定; 对对照组芒果的电子鼻响应信号进行简单统计分析, 发现各传感器响应具有一定的稳定性, 而各传感器的单因素方差分析模型都具有极显著意义, 显著水平 P 均小于 0.001; 分别采用线性的逐步回归分析和非线性的基于 LDA 降维的支持向量机

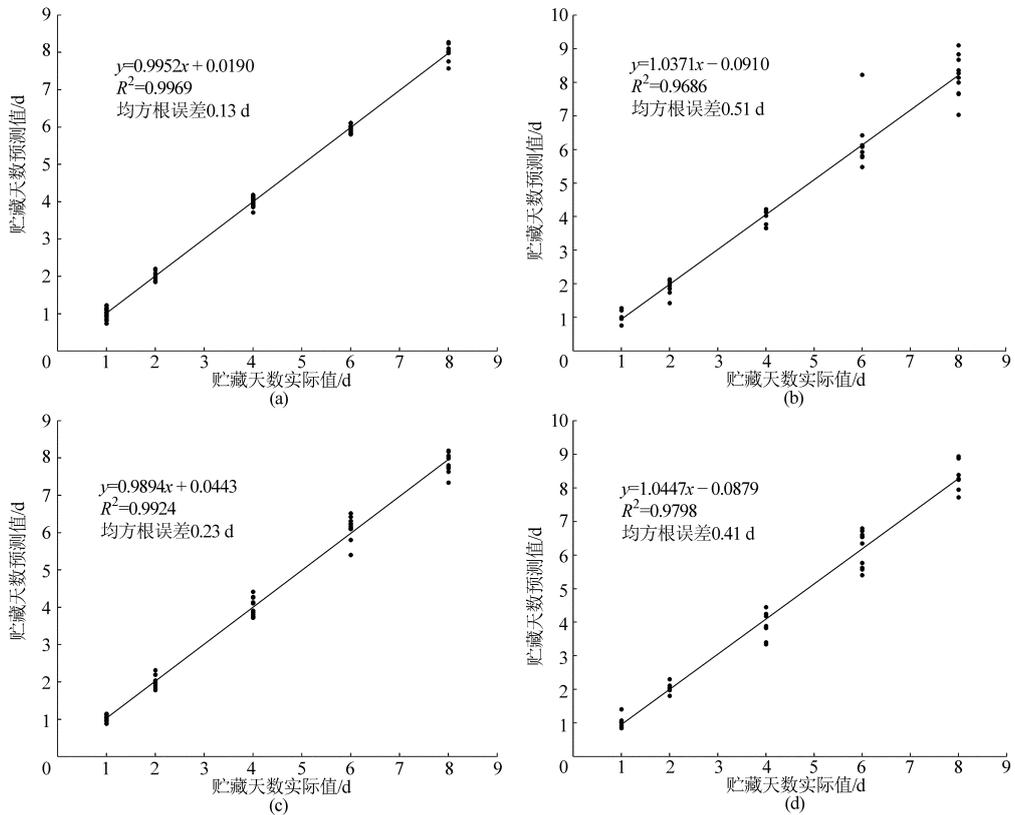


图9 芒果贮藏天数的支持向量机(SVM)模型

Fig.9 LDA-SVM models of mango storage

(a) 对照组模型训练集 (b) 对照组模型验证集 (c) 试验组模型训练集 (d) 试验组模型验证集

(LDA-SVM)构建芒果贮藏天数的预测模型,结果发现,对照组SR模型虽然整体预测效果欠佳,但对第4和6天的芒果仍有一定的预测效果,而试验组SR模型、对照组LDA-SVM模型和试验组LDA-

SVM模型对于芒果贮藏天数都具有较好的预测效果;在对照组中,使用LDA-SVM建模,可以将线性的逐步回归方法难以利用的有效非线性甄别信息加入到模型中。

参 考 文 献

- 1 王俊,胡桂仙,于勇,等.电子鼻与电子舌在食品检测中的应用研究进展[J].农业工程学报,2004,20(2):292-295.
Wang Jun, Hu Guixian, Yu Yong, et al. Research and application of electronic nose and electronic tongue in food inspection[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(2):292-295. (in Chinese)
- 2 张拥军,何杰民,蒋家新,等.不同处理工艺杨梅果汁风味成分的电子鼻检测[J].农业机械学报,2010,41(12):134-137.
Zhang Yongjun, He Jiemin, Jiang Jiaxin, et al. Electronic nose monitoring for myrica rubra juice using different treatment techniques[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(12):134-137. (in Chinese)
- 3 周亦斌,王俊.基于电子鼻的番茄成熟度及贮藏时间评价的研究[J].农业工程学报,2005,21(4):113-117.
Zhou Yibin, Wang Jun. Evaluation of maturity and shelf life of tomato using an electronic nose[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(4):113-117. (in Chinese)
- 4 于慧春,王俊,张红梅,等.龙井茶叶品质的电子鼻检测方法[J].农业机械学报,2007,38(7):103-106.
Yu Huichun, Wang Jun, Zhang Hongmei, et al. Measurement of the Longjing tea quality by using an electronic nose[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(7):103-106. (in Chinese)
- 5 张红梅,王俊,叶盛,等.电子鼻传感器阵列优化与谷物霉变程度的检测[J].传感技术学报,2007,20(6):1207-1210.
Zhang Hongmei, Wang Jun, Ye Sheng, et al. Optimized of sensor array and detection of moldy degree for grain by electronic nose[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2007, 20(6):1207-1210. (in Chinese)
- 6 石志标,佟月英,陈东辉,等.牛肉新鲜度的电子鼻检测技术[J].农业机械学报,2009,40(11):184-188.
Shi Zhibiao, Tong Yueying, Chen Donghui, et al. Identification of beef freshness with electronic nose[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(11):184-188. (in Chinese)
- 7 柴春祥,杜利农,范建伟,等.电子鼻检测猪肉新鲜度的研究[J].食品科学,2008,29(9):444-447.
Chai Chunxiang, Du Linong, Fan Jianwei, et al. Identification of pork freshness by electronic nose[J]. Food Science, 2008, 29(9):444-447. (in Chinese)

- 8 刘明,潘磊庆,屠康,等.电子鼻检测鸡蛋货架期新鲜度变化[J].农业工程学报,2010,26(4):317-321.
Liu Ming, Pan Leiqing, Tu Kang, et al. Determination of egg freshness during shelf life with electronic nose[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(4):317-321. (in Chinese)
- 9 孙忠富,曹洪太,李洪亮,等.基于GPRS和WEB的温室环境信息采集系统的实现[J].农业工程学报,2006,22(6):131-134.
Sun Zhongfu, Cao Hongtai, Li Hongliang, et al. GPRS and WEB based data acquisition system for greenhouse environment[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(6):131-134. (in Chinese)
- 10 杨玮,吕科,张栋,等.基于ZigBee技术的温室无线智能控制终端开发[J].农业工程学报,2010,26(3):198-202.
Yang Wei, Lü Ke, Zhang Dong, et al. Development of wireless intelligent control terminal of greenhouse based on ZigBee[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(3):198-202. (in Chinese)
- 11 张海辉,朱江涛,吴华瑞,等.通用农业环境信息监控系统ReGA网关设计[J].农业工程学报,2012,28(3):135-141.
Zhang Haihui, Zhu Jiangtao, Wu Huarui, et al. Design of ReGA gateway for general agricultural environment information monitoring system[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(3):135-141. (in Chinese)
- 12 邓小蕾,李民赞,武佳,等.集成GPRS、GPS、ZigBee的土壤水分移动监测系统[J].农业工程学报,2012,28(9):130-135.
Deng Xiaolei, Li Minzan, Wu Jia, et al. Development of mobile soil moisture monitoring system integrated with GPRS, GPS and ZigBee[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(9):130-135. (in Chinese)
- 13 李丽华,陈辉,于尧,等.基于无线传输的蛋鸡体温动态监测装置[J].农业机械学报,2013,44(6):242-245,226.
Li Lihua, Chen Hui, Yu Yao, et al. Dynamic monitoring device of hens temperature based on wireless transmission [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(6):242-245,226. (in Chinese)
- 14 Kim Y W, Cho J H, Jeon G J. An intelligent wireless electronic nose node for monitoring gas mixtures using neuron-fuzzy networks implemented on a microcontroller [C] // 2007 IEEE International Conference on Computational Intelligence for Measurement Systems and Applications, 2007:100-104.
- 15 宋凯,王祁,张振平.基于单传感器温度调制的无线电子鼻系统设计[J].仪器仪表学报,2011,32(1):150-156.
Song Kai, Wang Qi, Zhang Zhenping. Design of a wireless electronic nose system based on single sensor temperature modulation [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2011, 32(1):150-156. (in Chinese)
- 16 Pan L L, Yang S X. An electronic nose network system for online monitoring of livestock farm odors:IEEE-ASME transactions on mechatronics[J]. IEEE-ASME Transactions on Mechatronics, 2009, 14(3):371-376.
- 17 邹小波,赵杰文.电子鼻快速检测谷物霉变的研究[J].农业工程学报,2004,20(4):121-124.
Zou Xiaobo, Zhao Jiewen. Rapid identification of moldy corn by electronic nose[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(4):121-124. (in Chinese)
- 18 王立川,张覃轶,黄伟,等.基于气体传感器阵列的白酒特征分析[J].传感技术学报,2010,23(12):1686-1689.
Wang Lichuan, Zhang Tanyi, Huang Wei, et al. Analysis of characteristics in Chinese liquors based on gas sensor array[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2010, 23(12):1686-1689. (in Chinese)
- 19 Macias M M, Agudo J E, Manso A G, et al. A compact and low cost electronic nose for aroma detection[J]. Sensors, 2013, 13(5):5528-5541.
- 20 Men H, Liu H Y, Wang L, et al. Optimization of electronic nose sensor array and its application in the classification of vinegar [J]. Nanotechnology and Computer Engineering, 2010, 121-122:27-32.
- 21 叶焕锋,姜周曙.GPRS通信性能检测系统[J].通信技术,2012(11):64-66.
Ye Huanfeng, Jiang Zhoushu. GPRS communication performance testing system[J]. Communications Technology, 2012(11):64-66. (in Chinese)
- 22 Li Zhenfeng, Wang Ning, Raghavan G S V. Ripeness and rot evaluation of 'Tommy Atkins' mango fruit through volatiles detection[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 91(2):319-324.
- 23 Chidley H G, Kulkarni R S, Pujari K H, et al. Spatial and temporal changes in the volatile profile of Alphonso mango upon exogenous ethylenetreatment[J]. Food Chemistry, 2013, 136(2):585-594.
- 24 梅从立,束栋鑫,江辉,等.基于电子鼻和高斯过程的秸秆固态发酵过程监测技术[J].农业机械学报,2014,45(11):188-193.
Mei Congli, Shu Dongxin, Jiang Hui, et al. Monitoring of straw solid-state fermentation based on E-nose and Gaussian process [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(11):188-193. (in Chinese)
- 25 殷勇,薛俊莉,于慧春,等.基于KFDA的食醋电子鼻鉴别方法[J].农业机械学报,2014,45(9):236-240.
Yin Yong, Xue Junli, Yu Huichun, et al. Identification method of electronic nose based on KFDA for different vinegar samples [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(9):236-240. (in Chinese)