

基于嵌入式的腊肉检测手持终端系统的研制

Research and realization on bacon detection on embedded handheld terminal

郭培源 徐盼 董小栋 许晶晶 刘艳芳

GUO Pei-yuan XU Pan DONG Xiao-dong XU Jing-jing LIU Yan-fang

(北京工商大学计算机与信息工程学院, 北京 100048)

(Beijing Technology and Business University, School of Computer and Information Engineering, Beijing, 100048, China)

摘要:研究和实现基于嵌入式 Raspberry Pi 的手持式腊肉检测终端系统。利用计算机视觉和人工嗅觉分别采集腊肉的颜色或菌斑面积特征信息和挥发性气体值,将采集的数据经过 GPRS 传递给上位机,数据分析后将结果返回,实现对腊肉新鲜度的快速、便携检测。试验表明:该检测终端具有很好的精确度和可操作性,检测误差保持在 $[-0.38, 0.21]$ 区间内。

关键词:腊肉;新鲜度;模式识别;计算机视觉;人工嗅觉

Abstract: The handheld terminal bacon detection system based on Raspberry Pi was investigated and applied in this paper. The computer vision and artificial olfactory were used to collect the bacon color characteristic value and Plaque as so as the concentration of volatile gases, respectively. Moreover the collected data were transfer to the host computer through the GPRS, and then the analyses were returned. Thus we realized the rapid and portable detection of the bacon freshness. Our experiments verified that the terminal could work with good detection accuracy and operability.

Keywords: bacon; freshness; pattern recognition; computer vision; artificial olfaction

腊肉腐败是一个渐进而复杂的生化反应过程。腊肉新鲜度是关于腊肉的风味、滋味、色泽、口感和微生物等卫生标准的综合评价,它综合反映了产品的营养性、安全性的可靠程度^[1]。腊肉新鲜度按照中国 GB 2722—1981 分为新鲜、次新鲜和腐败 3 个等级。腊肉变质过程中气味、颜色及菌斑面积特征能够反映腊肉新鲜度变化程度^[2]。树莓派嵌入式 ARM 芯片具有多线程、并行处理功能、可裁剪指令、体积小、低功耗、成本低特点^[3],具有智能特点,能够满足腊肉新鲜度智能检测的技术要求。本试验拟采用计算机视觉技术提取腊肉的颜色及菌斑特征值,并用人工嗅觉技术测量腊肉氨气、硫化氢气体,将采集的数据经过 GPRS 传递给上位机,经标准数据库多数据融合分析后,将检测评价结果返回,以实

现对腊肉新鲜度的快速检测。并利用嵌入式技术研发一款快速轻便的手持终端。

1 手持移动终端硬件设计

硬件包括嵌入式核心模块、腊肉及颜色、菌斑数据采集模块、数据通信模块。系统设计框图见图 1。

嵌入式核心模块包括树莓派开发板、LCD 显示器、GPRS 通信模块、各通信接口;腊肉嗅觉采集包括气体传感器模块、颜色、菌斑数据采集包括带放大 100 倍的 OV5647 显微图像采集模块。

在腊肉腐败过程中,在自身酶和外界微生物的作用下,腊肉菌斑面积会逐步增加,同时产生易挥发的氨气和硫化氢气体。蛋白质分解产生氨气(NH_3)和硫化氢气体(H_2S)有毒物质。此有毒物质与腐败过程中分解产生的有机酸结合,形成具有挥发性的盐基态氮而集聚在腊肉中。挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)^[4]是腊肉挥发的气体浓度。因此,将嗅觉传感器检测到的 H_2S 和 NH_3 气味作为腊肉新鲜度等级判别的参数之一。依据中国食品安全标准(GB 2722—1981):挥发性盐基氮含量大于 25 mg/100 g 为腐败腊肉;含量 15~25 mg/100 g 为次鲜腊肉;小于 15 mg/100 g 时,为新鲜腊肉。

在腐败过程中,腊肉表面呈粘稠性,红色度下降,菌斑面积会逐步变大^[5-6],表面颜色亮度会增加,反光度会增加。因此,采集腊肉气味及表面颜色、菌斑图像特征信息进行多数据融合,进行腊肉新鲜度的模式识别。

1.1 树莓派处理器开发平台

采用树莓派开发板(Raspberry Pi B 型)^[6],它是一款基于 ARM 的微型电脑主板,配置一枚 700 MHz 的 BCM2835, 512 M 的内存,见图 2。

树莓派的处理器是基于 ARM11 的 Broadcom BCM2835 片上系统(System-on-chip, SoC)。BCM2835 包括 CPU、GPU (Graphics Processing Unit) 图像处理单元和 512 M 内存。拥有 CMOS Sensor Interface(CSI)摄像头接口,SD 卡接口,一个网络接口,两个 USB 接口,配备 HDMI 和 RCA 端子

基金项目:国家自然科学基金资助(编号:61473009);北京市自然科学基金项目资助(编号:4122020)

作者简介:郭培源(1958—),男,北京工商大学教授,博士。

E-mail:ggppyy@126.com

收稿日期:2016-01-05

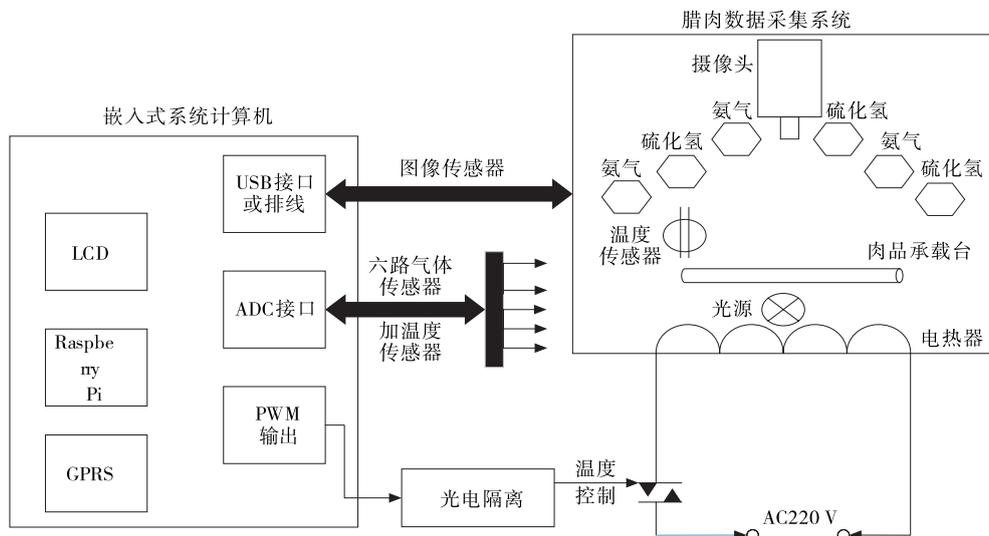


图1 系统设计框图

Figure 1 System design block diagram

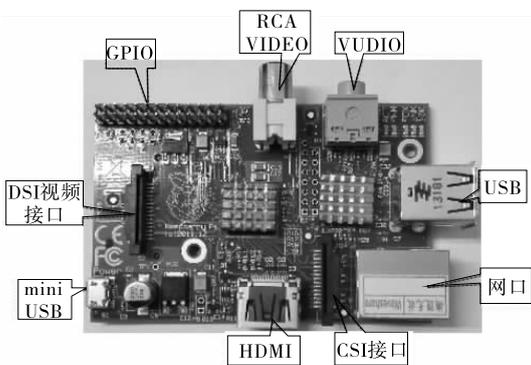


图2 Raspberry Pi B型开发板结构图和实物图

Figure 2 Development board structure and physical map

输出支持。它是基于 ARM6 结构指令集设计,具有并行处理功能、可裁剪指令、体积小、低功耗、成本低特点。

1.2 显微图像采集模块

郭培源等^[7]依据色度理论,建立了用于研究猪肉新鲜度色度模式识别量化标准。研究内容包括所采集的图像以 JPG 存储的 RGB 模型结构,需要进一步转变 HIS 颜色模型结构,转换过程:

$$H = \arccos \left\{ \frac{[(R-G) + (R-B)]}{[2(R-G)^2 + (R-B)(G-B)]^{1/2}} \right\}, \quad (1)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} [\min(R, G, B)], \quad (2)$$

$$I = \frac{1}{3} (R+G+B), \quad (3)$$

式中:

R、G、B——分别代表红色、绿色和蓝色;

H、S、I——分别代表色调、饱和度和强度。

将采集的 H、S、I 数据经过 GPRS 传递给上位机,经与中国 GB 16869—2005《鲜、冻禽产品》对比,可初步判断出腊肉品质的等级。

在夏日正常灯光照射下,腊肉色泽的变化见图 3。新鲜腊肉呈现淡红色,表面反光度小,腐败腊肉呈蓝红色,表面反

光度增强。图 4 是放大 100 倍显微图像下的腊肉变质过程中菌斑面积生长繁殖图。

1.3 嗅觉气味模块

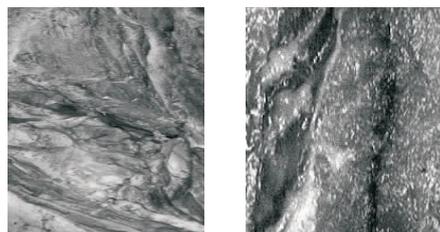
在特定的环境中,腊肉通过自身酶和微生物的作用后,其蛋白质会加速分解,易产生 NH₃、H₂S 等易挥发性气体。气味传感器的输出电阻值与腊肉释放出的 NH₃、H₂S 气味浓度呈线性关系。气味数据采集试验装置见图 5。为了避免实时检测中,某一个传感器失效时终端设备无法正常工作,提高检测的可靠性,本试使用 3 个 NH₃ 嗅觉气味传感器 MQ137;3 个 H₂S 嗅觉气味传感器 MQ136。

图 6 为传感器数据流程图。传感器采集的数据不是直接传送给树莓派,需要经过 YL_40 模块的模数 A/D 转换,然后通过 I²C 串口传给树莓派系统。采用 YL_40 模块实现模数转换模块,YL_40 模块主要是基于 PCF8591 的 8 位模数转换(A/D)模块。

嗅觉气味传感器采集的数据经上传到上位机,并与 GB 2722—1981 进行比较。图 7 为 80 组 NH₃、H₂S 传感器气味浓度值与 TVB-N 的对应值,每隔 1 h 采集一次数据。结果表明,随着腊肉变质过程的延续,TVN-B 值呈现出线性增长。

1.4 GPRS 传输模块

GPRS(General Packet Radio Service)^[8]是一种基于 GSM 的移动分组数据业务,是第二代移动通信技术。树莓派处理器主板采用内置 TCP/IP 协议栈连接 GPRS 工作模



(a) 新鲜腊肉 (b) 腐败腊肉

图3 新鲜腊肉与腐败腊肉的灰度图

Figure 3 Fresh bacon and corruption bacon grey-scale map

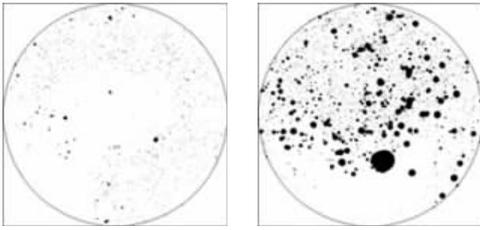


图 4 腊肉变质过程中的菌斑面积生长繁殖图
Figure 4 Plaque area bacon metamorphism growth chart (×100)

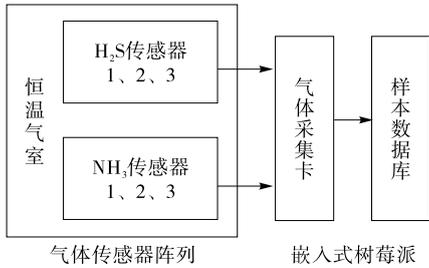


图 5 气味采集试验装置示意图
Figure 5 Gas gathering experiment

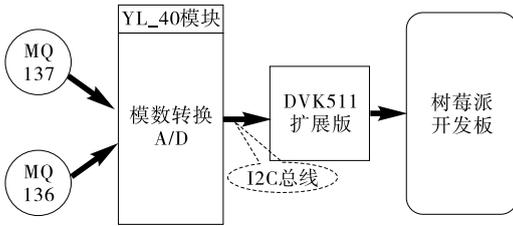


图 6 传感器数据流程图
Figure 6 Data flow chart

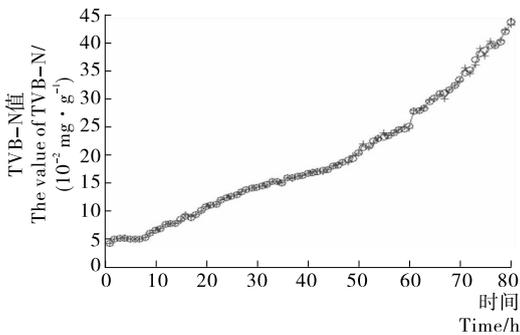


图 7 气味对应的 TVB-N
Figure 7 Gas mapping of TVB-N

式,通过 GPRS 模块和 Internet 网络将数据在手持终端与上位机之间交换^[9]。嗅觉传感器将采集到的腊肉 NH₃、H₂S 气味及腊肉表面色度及菌斑显微图像特征信息数据通过 GPRS(见图 8)上传给上位机。将 RS232 串口数据线通过 USB 口转换与 GPRS 模块连接,为确保数据信息传输的可靠性,所采用 TCP/IP 网络通信协议,需要实现远程双向信息交换。由于双向传输的数据信息有显微图像信息和嗅觉气味信息,显微图像信息占有较大的字节数,显微摄像头 OV5647 将采集到的腊肉表面色度及菌斑显微图像信息需要压缩为 JPEG 格式。

本试验采用的 GPRS 模块与树莓派开发板通信有两种

方式:① IComsat 通过 UART 接口与 DVK511 扩展板相连,然后连接树莓派开发板;② 通过 USB 转 UART 模块(PL2303)直接与树莓派开发板通信。其内嵌有 TCP/IP 协议,支持 TCP/UDP 通信。GPRS 程序流程见图 9。



图 8 GPRS 传输模块
Figure 8 GPRS transmission model

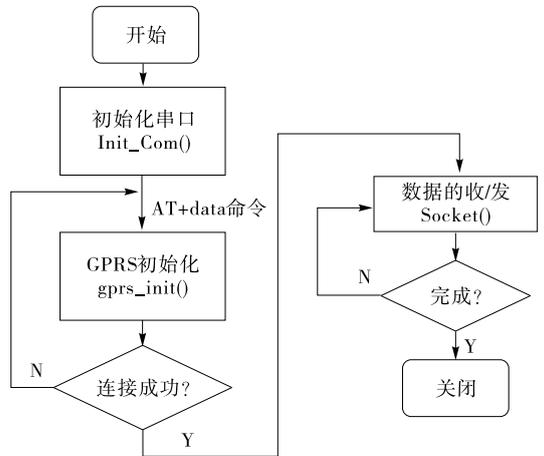


图 9 GPRS 程序流程图
Figure 9 GPRS program flow chart

数据传输实现了信息通信功能和数据传输功能。采用传输方式:

```
void RxInit(uint16_t start_comm_tmout, uint16_t max_interchar_tmout);
byte IsRxFinished(void);
byte IsStringReceived(char const * compare_string);
byte WaitResp(uint16_t start_comm_tmout, uint16_t max_interchar_tmout);
byte WaitRespAdd(uint16_t start_comm_tmout, uint16_t max_interchar_tmout, char const * expected_resp_string);
char SendATCmdWaitResp(char * AT_cmd_string, uint16_t start_comm_tmout, uint16_t max_interchar_tmout, char const * response_string, byte no_of_attempts);
```

初始化串口后,通过 AT +data 指令控制 GPRS 模块,包括 GPRS 协议、接入点等设置,连接方式包括设置类别、接入点等。

IComsat 拓展板采用基于 SIM900 的 GPRS 开发板,相对于工业级的 GPRS 模块,它提供了丰富的开发引脚。

设置指令:建立 TCP 连接、设置上位机 IP 与端口号、停止 GPRS 模块工作等。

2 嵌入式手持终端实现

嵌入式手持终端设备主要完成现场数据的采集,同时上传腊肉显微图像信息和气味信息,接受上位机反馈的检测结果。

2.1 腊肉新鲜度模式识别

腊肉新鲜度模式识别是在上位机实现的。模式识别算法由BP神经网络多数据融合预测TVB-N含量模块及SOM网络的腊肉新鲜度分级系统模块规则库组成。

上位机根据接收的腊肉变质过程中氨气、硫化氢、颜色值、显微图像值,通过BP神经网络多数据融合获得输出值。在SOM网络中进行聚类分析,得到新鲜、次新鲜、腐败腊肉等级的聚类中心,得到TVB-N含量数据序列。根据不同聚类中心的TVB-N值以及不同聚类中间之间的距离,建立腊肉新鲜度等级的分级规则库。工作中,当上位机检测到BP神经网络多数据融合输出某一样本特征数据后,将特征数据组送到分级规则库中,经过比较分析预测出该样品的TVB-N值,最终确定该样品的新鲜度等级。以四川乐山的腊肉为试验对象,将采集的样本分割为4 cm×4 cm×2 cm的肉块,共采集40个样本。用30个样本进行训练,10个样本进行测试。腊肉新鲜度模式识别结构见图10。

2.2 手持检测终端试验结果

试验证明,对于每一组上传到上位机气味及显微图像原始数据及返回到手持终端检测结果数据,新鲜腊肉、次新鲜腊肉、腐败腊肉3个测量结果与GB 2722—1981腊肉新鲜度检测标准基本一致,误差范围比较小,检测误差保持在[-0.38, 0.21]区间内,能满足对腊肉新鲜度的模式识别,见图11。

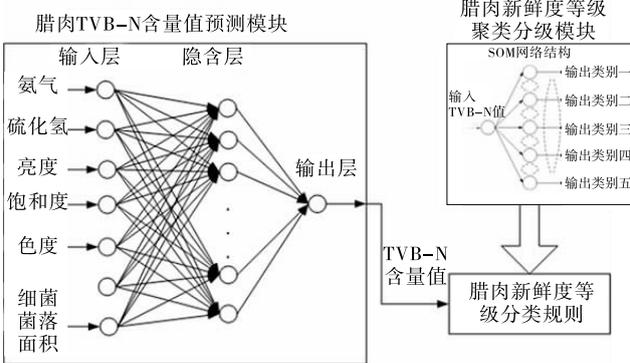


图10 腊肉新鲜度模式识别结构图

Figure 10 Meat freshness identification chart

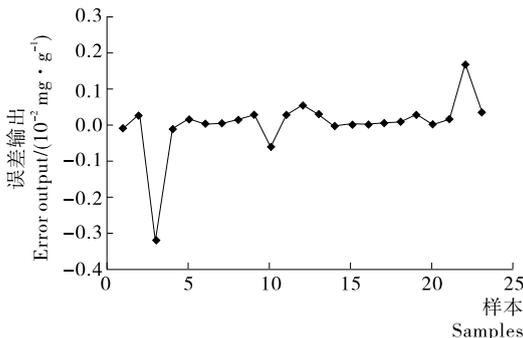


图11 手持检测终端的试验误差分析

Figure 11 hand-held terminal error analysis

手持检测终端硬件和软件能很好地完成数据的采集和传输,有很好的的人机交互界面,最终将检测结果显示在手持终端界面上,腊肉检测手持终端系统验证实验结果见图12。



图12 腊肉检测手持终端实验结果

Figure 12 Experimental results of handheld terminal of bacon detection

3 结论

本试验从技术上实现了一款基于嵌入式树莓派 Raspberry Pi 的手持腊肉检测终端。利用计算机显微视觉技术和人工嗅觉技术分别采集腊肉的挥发性气体、颜色及菌斑面积特征信息,将采集的数据经过GPRS上传给上位机,经过腊肉新鲜度等级的分级规则库分析,将检测数据分析结果返回手持式检测终端,实现了对腊肉新鲜度的便携模式识别。能很好地完成腊肉的新鲜度分级与检测,与中国GB 2722—1981腊肉新鲜度生化检测结果比较误差较小。该技术方案可为今后的腊肉检测设备研制提供试验依据。

参考文献

- [1] 林亚青, 房子舒. 猪肉新鲜度检测方法综述[J]. 肉类研究, 2011, 25(5): 62-65.
- [2] 刘洋. 腊肉加工和贮藏期间菌相变化和理化变化[D]. 北京: 中国农业大学, 2005: 110-113.
- [3] 邱铁. arm 嵌入式系统结构与编程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013: 78-79.
- [4] 张雷蕾, 李永玉, 彭彦昆, 等. 基于高光谱成像技术的猪肉新鲜度评价[J]. 农业工程学报, 2012, 28(7): 254-259.
- [5] 田璐, 李苗云, 赵改名, 等. 气调包装冷却肉生物胺及腐败特性研究[J]. 中国食品学报, 2013, 13(8): 75-82.
- [6] 陈韬, 崔薇, 邱燕, 等. 猪肉持水性与宰后肌肉组织结构变化的关系[J]. 食品科技, 2011, 36(4): 90-94.
- [7] 郭培源, 曲世海, 陈岩, 等. 猪肉新鲜度智能检测方法[J]. 农业机械学报, 2016, 37(38): 78-81.
- [8] 易飞, 余刚, 何凌, 等. Communication Network Technology [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2013: 78-79.
- [9] 杨鑫, 申长军, 王克武, 等. 基于SIM900的苗情图像无线传输系统设计[J]. 中国农机化学报, 34(4): 252-256.