

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.S0.040

# 基于多光谱成像技术的猪肉新鲜度无损快速检测装置\*

李翠玲 彭彦昆 汤修映

(中国农业大学工学院,北京 100083)

**【摘要】** 基于多光谱成像技术设计了猪肉新鲜度的关联复合品质参数无损快速检测装置,包括硬件与软件设计。硬件系统由单片机控制单元、光源单元、图像采集单元、数据处理单元和 LCM 液晶显示单元组成,软件系统在 ICCAVR 开发环境下设计,采用 C 语言编程,包含图像采集模块、滤光片切换模块、LCM 显示模块、与 PC 机通信模块等。经过软件与硬件系统调试、实验,该装置检测速度为每 10 s 检测一个样品,具备无损、快速检测的功能。

**关键词:** 猪肉 新鲜度 无损检测 多光谱成像技术

**中图分类号:** S123; TS251.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)S0-0202-05

## Device for Rapid Nondestructive Detection of Pork Freshness Based on Multispectral Imaging Technology

Li Cuiling Peng Yankun Tang Xiuying

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

### Abstract

A rapid and nondestructive detection device for pork freshness with associated composite quality parameters based on multispectral imaging technology was designed. The system included hardware system and software system. Hardware system consisted of a single-chip microcomputer control unit, light source unit, image acquisition system, data processing unit and LCM display unit. Software system was designed in the ICCAVR development environment programmed by C language. The software was built to control image acquisition module, filter switching module, LCM display module and communication module with a PC. After debugging and experiment of the software and hardware systems, this device could meet the speed requirement of detecting a sample in less than 10 s, having the function of nondestructive and rapid detection.

**Key words** Pork meat, Freshness, Nondestructive detection, Multispectral imaging technology

### 引言

猪肉新鲜度是对其卫生标准的综合评价,它可以综合反映产品营养性、安全性、嗜好性的可靠程度,是衡量猪肉品质的重要指标。猪肉新鲜度的检测,应从感官指标、微生物指标和理化指标等几方面综合评价,单一的方法很难获得准确的检测结果<sup>[1-2]</sup>。感官评价要求检测人员经过专业培训和具

有实践经验。微生物检测和理化检验需要有专门的实验仪器,过程复杂、耗时<sup>[3]</sup>。因此,迫切需要一种快速、无损伤、实时的检测方法对猪肉的新鲜度进行检测。

随着社会发展和科技的进步,现代检测方法逐渐被引入到了猪肉的新鲜度检测中<sup>[4-7]</sup>。近红外光谱分析技术具有检测简单快速、分析效率高和非破坏等优点,但是由于其设备造价过高<sup>[8]</sup>,以及光谱

收稿日期:2012-07-07 修回日期:2012-08-06

\*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAH04B02)和公益性行业(农业)科研专项资助项目(2010033008)

作者简介:李翠玲,硕士生,主要从事生鲜肉的品质安全快速检测关键技术研究,E-mail:1231cl586@sina.com

通讯作者:彭彦昆,教授,博士生导师,主要从事农畜产品品质安全无损检测研究,E-mail:ypeng@cau.edu.cn

数据中包含过多冗余信息,建模难度大<sup>[9]</sup>,制约了这种技术在实际生产中的应用。本文基于多光谱成像技术,设计猪肉新鲜度检测装置。

## 1 检测装置总体构建

检测装置基于多光谱成像技术,由单片机控制单元、光源单元、图像采集单元、数据处理单元和液晶显示单元组成,如图1所示。单片机控制单元主要功能是控制切换滤光片,复位滤光片轮,向图像采集卡发送触发信号,显示检测结果与计算机进行实时通信。光源单元为整个装置提供稳定的可见/近红外光;图像采集单元由高性能可见/近红外相机(UM301型,USA)、采集卡、滤光片和滤光片轮组成,采用外部信号触发的方式采集图像;数据处理单元主要实现接收并保存多光谱图像数据、数据处理、建立预测模型,以及在 Matlab 环境下进行单片机与 PC 机的串口通信。液晶显示单元显示装置的操作步骤和检测结果。在使用本装置检测猪肉新鲜度时,将装置贴靠在样品表面,当光束照射在肉样表面时,肉样的漫反射光透过滤光片,通过 CCD 相机形成多光谱图像。图2为该装置的工作原理框图。

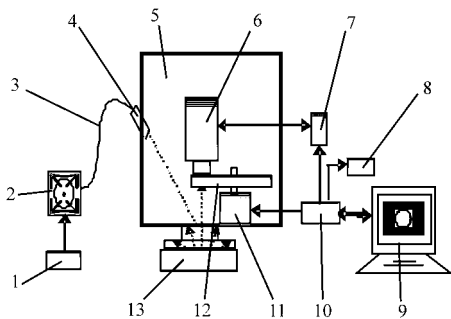


图1 检测装置结构简图

Fig.1 Structure diagram of the detection device

1. 稳压电源 2. 光源 3. 光纤 4. 准直透镜 5. 暗箱 6. 相机
7. 采集卡 8. LCM液晶显示器 9. 计算机 10. 单片机 11. 电动机
12. 滤光片轮 13. 样品

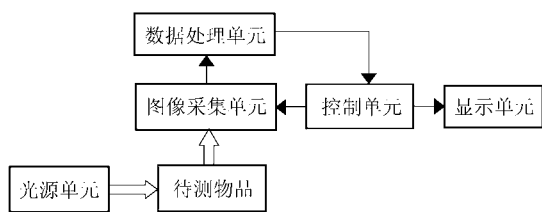


图2 装置工作原理框图

Fig.2 Working principle block diagram of the device

## 2 检测控制模块化设计

模块化一般指使用模块的概念对产品或系统进行规划和组织。模块化设计是指在对产品所具有的不同功能、性能进行功能分析的基础上划分出一系

列功能模块,通过模块的选择和不同组合形成不同的产品<sup>[10]</sup>。模块化设计是绿色设计方法之一,本文根据构成该装置的不同模块所具有的不同功能,采用模块化的设计思想进行设计并实现相应的功能。

### 2.1 主控模块

单片机以其高可靠性、高性价比、低电压、低功耗等一系列优点,近几年得到迅猛发展和大范围推广,广泛应用于工业控制系统、数据采集系统、智能化仪器仪表、通讯设备、日常消费类产品、玩具及汽车电子产品等<sup>[11]</sup>。考虑到 AVR 单片机的运行速度比 51 单片机的运行速度快得多,以及 AVR 单片机内部提供丰富的中断及寄存器资源<sup>[12]</sup>,本文选用 ATMEL 公司研发的增强型内置 Flash 的 RISC 精简指令集高速 8 位 AVR 单片机 ATmega16 构成本装置的主控单元,其资源可以满足本装置的性能需求。

ATmega16 共有 4 个 8 位 I/O 端口,分别为 PA 口、PB 口、PC 口和 PD 口。这 4 个端口均为双向 I/O 口,每一个引脚都有内部上拉电阻,输出缓冲器具有对称的驱动能力,可以输出和吸收大电流。每一个 I/O 端口都具有第二功能。在本装置中 PA 口主要用于连接步进电动机的驱动器,并输出图像采集卡的外部触发信号,使相机响应外部事件拍照。PD 口的第二功能包括外部中断、定时器输入捕捉中断和串口通信等。定时器 1 的输入捕捉引脚作为霍尔元件感应信号的输入端,单片机接收感应信号并执行相应的动作。RXD、TXD 为 USART 的输入和输出引脚,用于单片机与 PC 机的串口通信。本装置的软件设计主要在 ICCAVR 开发环境下进行,采用 C 语言编程。

### 2.2 滤光片切换模块

在本装置中,滤光片的切换速度决定着检测速度,因此该模块起着至关重要的作用。滤光片的切换是通过滤光片轮的圆周转动实现的,而滤光片轮的转动是由三相步进电动机驱动的。步进电动机是一种将脉冲信号变换成相应角位移(或线位移)的电磁装置,在非超载的情况下,电动机的转速、停止的位置只取决于脉冲信号的频率和脉冲数,而不受负载变化的影响。因此控制输入脉冲的数量、频率及电动机绕组通电的相序,便可获得所需的转角、转速及转动方向。本文利用 ATmega16 单片机定时器/计数器 1(T/C1)的输出比较单元 A 匹配(16 位比较器持续比较计数寄存器 TCNT1 与寄存器 OCR1A 的内容,一旦发现它们相同,比较器立即产生一个匹配信号)。输出功能产生不同频率的正弦恒流斩波,T/C1 工作于 CTC 模式,当发生比较匹配时,相应的引脚电平取反,从而产生所需波形。图 3

为步进电动机驱动接线图,PD5 引脚输出正弦恒流斩波,调节输出波的频率可以实现步进电动机的调速。

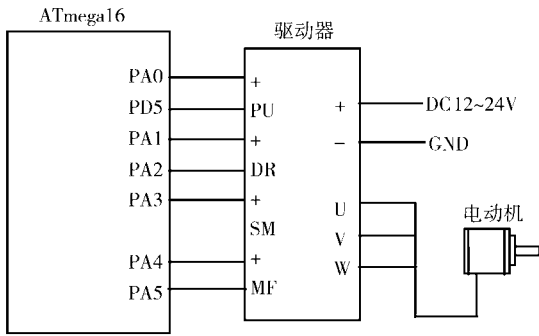


图 3 步进电动机驱动接线图

Fig. 3 Connection figure of stepping motor driver

图 4 为其主程序流程图,主要进行 T/C1 相关寄存器的设置、赋初值、开中断。图 5 为 T/C1 中断子程序流程图,当 T/C1 输出比较 A 匹配中断产生时,CPU 暂停当前程序的执行,开始执行中断服务子程序,判断是否切换了一个滤光片以及是否切换了所有的滤光片,当 CPU 执行完中断子程序,便回到原程序的断点处,继续执行已被中断了的程序。

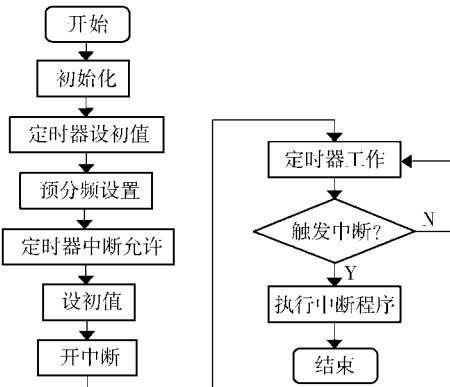


图 4 主程序流程图

Fig. 4 Flow chart of main program

### 2.3 基于霍尔元件的滤光片复位模块

当使用本装置开始检测肉品新鲜度时,应首先使滤光片处于复位状态,否则可能输出错误的检测结果。由于霍尔元件具有尺寸小、质量轻、无触点、外围电路简单、频响宽、动态性能好、使用寿命长、调试方便等特点,用它可以做成各种传感器,广泛应用于位移测量、倾角测量、压力测量、转速或转数测量以及计数等方面<sup>[13-14]</sup>。因此,本文采用霍尔传感器来复位滤光片。图 6 为霍尔元件的接线图。当霍尔元件的输出端有电平变化时,ATmega16 单片机的 T/C1 输入捕捉引脚捕捉到变化信号,并触发中断,单片机响应中断执行中断服务程序,使滤光片复位。图 7 为霍尔元件的工作流程图,当产生 T/C1 输入捕捉中断时,T/C1 关闭,停止工作,PD5 不再输出波

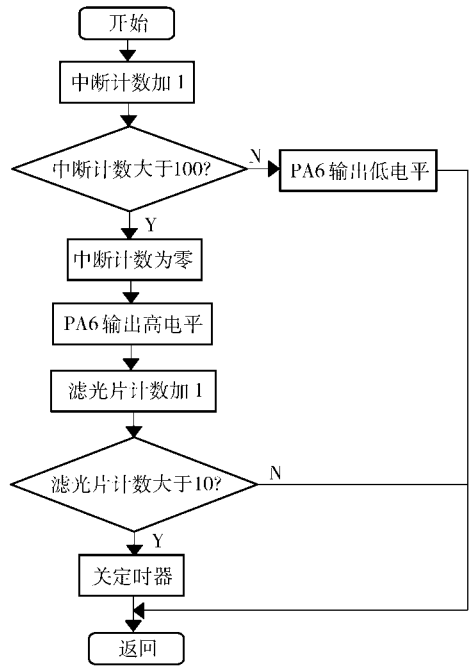


图 5 中断子程序流程图

Fig. 5 Flow chart of interrupt subroutines

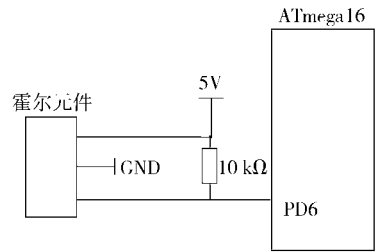


图 6 霍尔元件接线图

Fig. 6 Connection diagram of hall element

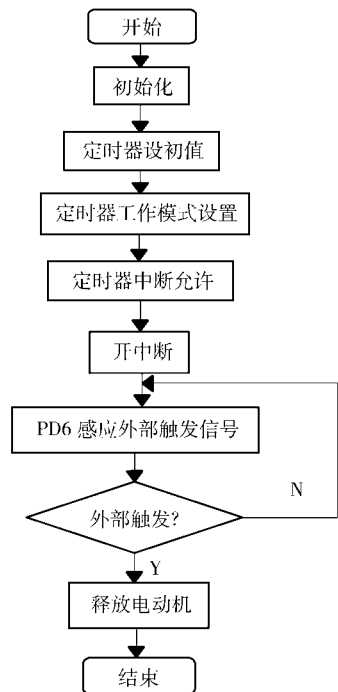


图 7 霍尔元件工作流程图

Fig. 7 Flow chart of the hall element

形,滤光片轮停止转动,从而使滤光片复位。

## 2.4 图像采集卡触发模块

本装置每切换一次滤光片,ATmega16 单片机的 PA6 引脚便向图像采集卡发送触发信号,采集卡响应触发信号采集图像,依次采集各个波段处的图像。软件是在 VC++6.0 环境下对配套软件进行二次开发,图像按照数字顺序自动保存,以待后续处理。

## 2.5 LCM 液晶显示模块

该模块主要显示装置操作步骤和检测结果。当白参考校准完成时,显示“白板校准完成”,以提示用户进行下一步操作。当黑参考校准完成时,显示“黑参考校准完成”,以提示用户进行下一步操作。当计算机处理完数据,并向单片机传送处理结果时,LCM12864 显示最终的新鲜度检测等级。

## 2.6 在 Matlab 环境下单片机与 PC 机串口通信模块

该模块主要由上位机(PC机)和下位机(ATmega16 单片机)组成。上位机和下位机通过 RS232 进行通信。上位机负责图像数据的接收、保存与处理,在 Matlab 7.11 环境下,利用 Matlab 7.11 的 INSTRUMENTCONTROLTOOLBOX 的 SERIAL 类及 INSTRCALLBACK() 回调函数,实现基于事件驱动的实时通信。下位机负责向上位机发送控制信号和响应主机的控制处理信号。

本通信模块中的字符帧格式为每一帧数据含有 10 位,1 位起始位、8 位数据位、1 位停止位、无奇偶校验,波特率为 9 600 b/s。可以通过语句 `scom = serial('COM1','BaudRate',9600,'Parity','none','DataBits',8,'StopBits',1)` 来实现以上设置。以 0xFF 作为通信握手信号,PC 机向单片机发送信号 0xFF,如果单片机接收到的上位机数据为信号 0xFF,则向上位机发送数据,若不是,则继续等待。程序如下:

```
scom = serial('COM1');%新建串口
scom.BaudRate = 9600;%设置波特率
scom.Parity = 'none';%无奇偶校验
scom.DataBits = 8;%传送数据为8位
scom.StopBits = 1;%1位停止位
...
scom.BytesAvailableFcnMode = 'terminator';%
终止符
scom.terminator = 'H';%终止字符为H
scom.BytesAvailableFcn = @instrcallback;%回
调函数的入口地址
fopen(scom);%打开串口
fwrite(scom,255);%以二进制方式发送握手信
号 0xFF,缺省为异步通信方式
```

若要实现自动收发数据,还需要定义串口中断处理函数以及触发串口中断的方式。在本系统中,当相机采集完样品在各个波段处的图像时,单片机通过 RS232 向上位机发送字符 H,当上位机的输入缓存区接收到该字符时,便触发中断,Matlab 会自动调用回调函数 INSTRCALLBACK() 进行通信事件的处理。回调函数主要完成图像数据的处理,并将分析结果返回到单片机,进一步通过液晶显示模块显示检测结果。Matlab 实时串行通信的程序流程如图 8 所示,首先,创建串口设备对象;其次,配置串口对象属性,如帧格式、波特率等;再次,开串口中断,并等待串口中断事件发生;最后,当中断发生时调用回调函数,处理图像数据,并向单片机发送分析结果。

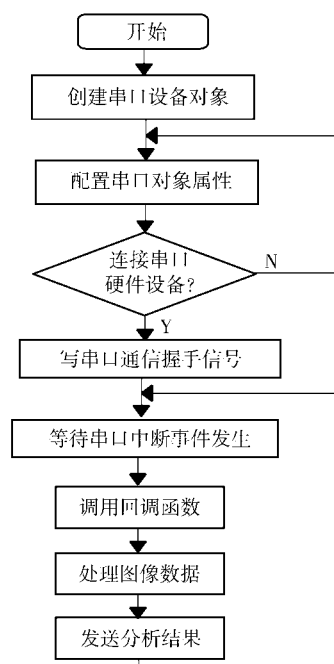


图 8 Matlab 实时串行通信程序流程图

Fig. 8 Flow chart of Matlab real-time serial communication program

## 3 检测装置的功能

本文基于多光谱成像技术开发猪肉新鲜度的关联复合品质参数无损伤快速检测装置,涉及硬件系统与软件系统。首先,该装置由单片机控制,利用计算机进行图像数据处理,操作简单,检测速度为 10 s 检测一个样品,具备无损伤、快速检测的功能。其次,本装置可自动切换多个窄带滤光片,滤光片的中心波长为与猪肉新鲜度参数相关性较高的波长,为猪肉新鲜度的关联复合品质参数检测提供软、硬件基础。

## 4 结束语

本装置以多光谱成像技术为基础,包括硬件与

软件系统设计。硬件系统由不同单元组成,各个单元严格按照设计流程工作,既互不干扰,又协同工作。软件系统采用模块化的设计思想,充分利用 AVR 单片机的 I/O 口、定时器/计数器和中断资源,

用 C 语言编制程序,程序经调试、固化,可以实现各个模块功能。本装置具备无损伤、快速检测的功能,为猪肉新鲜度的多品质参数无损伤、快速检测提供软、硬件基础。

#### 参 考 文 献

- 1 李彬. 生鲜猪肉新鲜度的检测及贮藏品质评价[J]. 商洛学院学报,2007,21(2):57~59.  
Li Bin. Examination of raw pork's fresh degree and appraisal of raw pork's storage quality[J]. Journal of Shangluo University, 2007,21(2):57~59. (in Chinese)
- 2 Joseph K, John K, David L. Meat processing: improving quality [M]. North America: Woodhead Publishing Limited, 2002: 27~57.
- 3 郭培源, 曲世海, 陈岩, 等. 猪肉新鲜度的智能检测方法[J]. 农业机械学报, 2006, 37(8): 78~81.  
Guo Peiyuan, Qu Shihai, Chen Yan, et al. Study on intellectual detection techniques to freshness of pork[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(8): 78~81. (in Chinese)
- 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.  
Zhang Leilei, Li Yongyu, Peng Yankun, et al. Determination of pork freshness attributes by hyperspectral imaging technique [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(7): 254~259. (in Chinese)
- 5 侯瑞锋, 黄岚, 王忠义, 等. 用近红外漫反射光谱检测肉品新鲜度的初步研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2006, 26(12): 2 193~2 196.  
Hou Ruifeng, Huang Lan, Wang Zhongyi, et al. The preliminary study for testing freshness of meat by using near-infrared reflectance spectroscopy[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2006, 26(12): 2 193~2 196. (in Chinese)
- 6 孙梅, 付妍. 嗅觉可视化技术在猪肉新鲜度检测中的应用[J]. 北京工商大学学报: 自然科学版, 2011, 29(3): 65~68.  
Sun Mei, Fu Yan. Application of olfaction visualization technology on identification of pork freshness[J]. Journal of Beijing Technology and Business University: Natural Science Edition, 2011, 29(3): 65~68. (in Chinese)
- 7 Tang X, Li C, Peng Y, et al. Nondestructive prediction of pork freshness parameters using multispectral scattering images[C] // Proceedings of SPIE—the International Society for Optical Engineering, 2012.
- 8 许冠男, 郭培源, 袁芳. 猪肉新鲜度无损检测技术现状及发展方向[J]. 北京工商大学学报: 自然科学版, 2010, 28(1): 14~17.  
Xu Guannan, Guo Peiyuan, Yuan Fang. Development of nondestructive detection techniques of pork freshness[J]. Journal of Beijing Technology and Business University: National Science Edition, 2010, 28(1): 14~17. (in Chinese)
- 9 王国庆, 邵学广. 离散小波变换-遗传算法-交互检验法用于近红外光谱数据的高倍压缩与变量筛选[J]. 分析化学, 2005, 33(2): 191~194.  
Wang Guoqing, Shao Xueguang. A discrete wavelet transform-genetic algorithm-cross validation approach for high ratio compression and variable selection of near-infrared spectral data[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2005, 33(2): 191~194. (in Chinese)
- 10 贾延林. 模块化设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1993: 38~41.
- 11 徐益民, 范红刚, 苏凤武. 零基础学 AVR 单片机: 基于 ATmega16、汇编及 C 语言 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2011: 1~8.
- 12 桑顺, 牛晓聪, 赵媛媛. AVR 单片机与 51 单片机的比较[J]. 企业技术开发, 2011, 30(15): 96~97.  
Sang Shun, Niu Xiaocong, Zhao Yuanyuan. The AVR microcontroller with 51 more [J]. Technological Development of Enterprise, 2011, 30(15): 96~97. (in Chinese)
- 13 黄无双. 微机控制电机实时测速系统[J]. 仪器仪表用户, 2005, 12(2): 24~25.  
Huang Wushuang. Microcomputer control real-time rotate speed measurement system [J]. Electronic Instrumentation Customer, 2005, 12(2): 24~25. (in Chinese)
- 14 丁芝琴. 基于霍尔传感器的电机测速装置设计[J]. 农机化研究, 2010(5): 81~83.  
Ding Zhiqin. Design of motor speed measurement device based on hall effect sensor [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010(5): 81~83. (in Chinese)