

# 基于无线传感器网络和虚拟仪器的 农残检测系统的建立

周红标, 张新荣, 唐中一, 柯永斌  
(淮阴工学院 电子与电气工程学院, 江苏 淮安 223003)

**摘要:** 果蔬中的农药残留问题一直备受关注。为了实现对果蔬中农药残留的快速检测, 基于酶抑制法设计了一种农药残留快速检测系统。采用光频传感器采集农药残留量信息, 通过基于 nRF24L01 的无线传感器网络将其发送到上位机, 最后在上位机利用虚拟仪器语言 LabVIEW 开发一套集数据采集、存储、回放和分析于一体的虚拟检测系统。利用该系统对甲胺磷农药进行检测, 结果表明, 农药残留量与抑制率呈正相关, 与根据农业行业标准进行试验的结果相吻合。因此, 无线传感器网络和虚拟仪器技术应用于农残检测切实可行, 且提高了检测效率。

**关键词:** 农药残留; 酶抑制法; 无线传感器网络; 虚拟仪器

**中图分类号:** TP274<sup>+</sup>.2 S812.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-3268(2011)03-0088-04

## Research on Pesticide Residue Detecting System Based on Wireless Sensor Networks and Virtual Instrument

ZHOU Hong-biao, ZHANG Xin-rong, TANG Zhong-yi, KE Yong-bin

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

**Abstract:** Pesticide residues in fruits and vegetables are a great problem concerned by the society. In order to achieve the rapid detection of pesticide residues in fruits and vegetables, a rapid detection system was developed based on the enzyme inhibition method. The information on pesticide residues was acquired using optical frequency sensor and communicated with PC using wireless sensor networks. Based on virtual instrument software LabVIEW, the virtual detecting system was designed to acquire, store, display and process the pesticide residue data. The system was used to detect the concentration of methamidophos and the result showed that the pesticide residues were in proportion to the enzyme inhibition rate, consistent with the result from the standard method. In conclusion, use of wireless sensor networks and virtual instrument in the system was practicable and the detection efficiency was improved.

**Key words:** Pesticide residues; Enzyme inhibition method; Wireless sensor networks; Virtual instrument

有机磷类农药是一种高效、广谱型杀虫剂, 被广泛应用于农业、家庭以及仓储等的杀虫。其杀虫作用机制为抑制昆虫神经传导的重要物质乙酰胆碱酯酶的活性, 大量使用会造成环境污染和人畜中毒等危害, 尤其是果蔬中有机磷类农药残留已经引起人们的高度重视<sup>[1]</sup>。因此, 研究适合现场快速检测果蔬中农药残留的系统迫在眉睫。

目前, 农药残留的检测方法主要有色谱分析法、免疫分析法、生物传感器法、酶抑制法等。其中酶抑制法是利用有机磷农药的毒理特性建立的一种快速检测方法, 具有检测速度快、成本低、操作简单等特点, 最适合现场检测及大批样品的筛选检测<sup>[2]</sup>。

根据酶抑制法研制的农残检测系统主要有吉林大学白宇采用 C8051F020 单片机设计的多通道农药

收稿日期: 2010-10-08

基金项目: 淮安市科技项目(HAG07068)

作者简介: 周红标(1980-), 男, 江苏扬州人, 讲师, 硕士, 主要从事虚拟仪器、信号处理的研究。E-mail: hytzhb@163.com

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

残留检测系统<sup>[3]</sup>和中国科学技术大学汪方斌采用 DSP 设计的农残快速检测仪<sup>[4]</sup>, 它们大都采用有线方式进行通讯, 同时也没对数据分析软件进行设计。鉴此, 本研究将当前研究热点的无线传感器网络技术<sup>[5]</sup>运用到农残检测系统中, 实现了检测终端采集的数据与上位机之间的无线传输, 大大提高了检测系统的便携性。同时, 在上位机采用虚拟仪器软件 LabVIEW 设计开发一套集数据管理、采集和分析于一体的虚拟农残检测系统, 很大程度上减轻了检测人员后续的数据处理工作强度, 使得农残检测系统更加实用。

1 农药残留检测原理

酶抑制法是基于有机磷类农药能抑制乙酰胆碱酯酶的活性, 借助于特定的显色反应, 通过肉眼观察或仪器读数来进行判定, 从而定性或定量检测样品中农药残留状况<sup>[1]</sup>。利用这一原理可以将靶标生物酶置于试管中, 使酶与试样进行反应, 如果样品提取液中无农药残留或残留量很低, 酶的活性就不被抑制, 底物被水解, 水解产物与显色剂发生显色反应; 反之, 如果样品提取液中的农药残留量较高时, 酶的活性就被抑制, 底物不被水解或水解速度显著降低, 当加入显色剂时就不显色或颜色变化很小。因此, 农药残留量与显色反应后的颜色相关。通常以乙酰硫代胆碱作为水解反应的底物, 其在乙酰胆碱酯酶的作用下被水解成硫代胆碱和乙酸, 其中硫代胆碱和二硫双对硝基甲酸发生显色反应, 使反应液呈黄色, 在 410nm 处有最大吸收峰, 可使用分光光度计测得酶活性被抑制的程度<sup>[1, 6]</sup>。

传统的化学试验计算抑制率需要 4 个步骤<sup>[1]</sup>: 测量相对透射光强、计算透光度、计算吸光度、计算抑制率, 其中第 4 个步骤还要分别计算空白样和待测样 3 min 前后吸光度的变化值, 整个计算过程较复杂。本系统采用光频传感器, 它能将光强直接转换成相应的频率值输出。如果农药残留较低, 则光强较低, 输出频率值也较低; 如果农残量较高, 则光强较高, 输出频率值也较高。因此, 可以将上面计算抑制率的 4 个步骤简化成一个公式:

$$Y = \frac{(F_o - F_t)}{F_o} \times 100\%$$

式中,  $F_o$  为空白样由光频传感器输出的频率值,  $F_t$  为待测样水解反应充分时直接由光频传感器输出的频率值, 大大简化了计算过程。

2 系统组成及工作原理

系统总体由检测终端、无线传感器网络节点和上位机组成, 检测终端包含 TSL230 光频传感器、微

处理器 P89V51RB2、无线收发模块 nRF24L01 等, 无线传感器网络节点包含无线收发模块 nRF24L01 和 RS-232 通讯接口, 上位机采用虚拟仪器软件 LabVIEW 设计虚拟农残检测系统(图 1)。检测终端将采集到的农产品农药残留数据发送到无线传感器网络节点, 无线传感器网络节点通过 RS-232 接口上传数据到 PC 机进行显示、存储和分析。

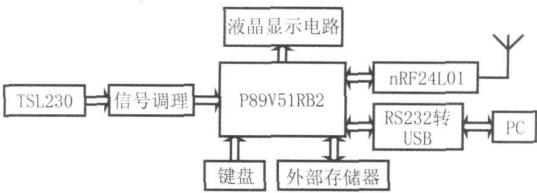


图 1 农药残留检测系统的组成结构

3 系统硬件设计

系统硬件包含前端检测模块、微处理器 P89V51RB2、电源模块、无线收发模块 nRF24L01、人机接口模块、RS-232 通讯模块等。

3.1 前端检测模块

前端检测模块主要由单色光源、样品池和光频转换器件组成。单色光源采用 410nm 波长蓝紫色高亮度 LED, 具有发光效率高、响应时间短等优点。样品池是待测样品与试剂进行水解显色反应的场所, 要注意避光, 防止自然光进入引起传感器误差。光频转换器采用美国 TI 公司最新智能传感器 TSL230, 可直接对可见光进行频率转换, 灵敏度、分频输出可由程序控制。

3.2 微处理器

硬件系统选用 P89V51RB2 作为核心控制器, 它是 Philips 公司生产的一款 80C51 微控制器, 包含有 16kB 的 Flash 和 1kB 的 RAM, 共 4 个优先级别的中断资源, 与传统的 80C51 系列指令完全兼容。具有 ISP(在系统编程)、IAP(在应用中编程)、存储资源、多重多优先级中断的嵌套功能, 是一款非常适合于本系统的微控制处理器。

3.3 无线收发模块

无线收发模块采用的是挪威 Nodic 公司的单片射频收发芯片 nRF24L01, 工作在全球开放的 2.4GHz 频段, 工作电压 1.9~3.6V, 可通过 SPI 接口写入数据, 具有自动应答和自动再发射功能。nRF24L01 功耗低, 在以 -6dBm 的功率发射时, 工作电流只有 9mA; 接收时, 工作电流只有 12.3mA, 多种低功率工作模式(掉电模式和空闲模式)使节能设计更方便。此外, 它还具有最高工作速率(2Mbps)、高效 GFSK 调制、抗干扰能力

强、内置硬件 CRC 检错等特点。nRF24L01 工作模式有 4 种,即:收发模式、配置模式、空闲模式和关机模式,由 PWR\_UP register、PRIM\_RX register 和 CE 决定<sup>[7]</sup>。

### 3.4 人机接口模块

人机接口模块包括键盘阵列、液晶显示电路和微型打印机电路。键盘阵列采用 4×4 矩阵键盘,能方便地向单片机写入数据,传送命令等。液晶显示电路采用杭州清达光电公司生产的具有 128×64 分辨率的大屏幕液晶显示模块 LCM 12864,它能显示汉字和数字等检测信息。微型打印机采用北京微达电子技术公司生产的一种串口打印机,采用单电源直流 5 V 供电,打印宽度 24 字符/行,打印速度 1.2 行/s,另外它还提供了 36 条打印命令。

### 3.5 RS-232 通讯模块

终端检测装置和无线传感器网络节点都设计了 RS-232 通讯模块,方便它们与上位机之间的通信。由于 P89V51RB2 自带增强型 UART 接口,而 UART 使用的是 CMOS 电平,需要进行电平转换才能实现 RS-232 通信。本系统使用 MAX232 电平转换芯片,进行 CMOS 电平与 RS-232 电平之间的转换。串口通讯波特率设定为 9600 bp,数据流格式为 1 个起始位,8 个数据位,1 个停止位,无奇偶校验。制作的农药残留检测系统实物如图 2 所示。

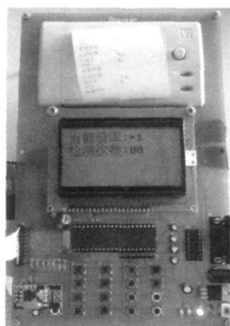


图 2 农药残留检测系统

## 4 系统软件设计

### 4.1 单片机软件设计

单片机软件主要由系统初始化、数据采集子程序、数据处理子程序、无线通讯子程序、显示子程序、键处理子程序、微型打印机子程序等 7 个部分组成,这里不再一一叙述。

### 4.2 虚拟仪器软件设计

LabVIEW 是美国 NI 公司开发的一种用图标代替文本行创建应用程序的图形化编程语言(G 语言)。LabVIEW 是一个功能强大的集成开发环境,完整地集成了与 GPIB、VXI、RS-232、RS-485 和内

插式数据采集卡等硬件的通信;它还具有内置程序库,提供了大量的连接机制,通过 DLL、CIN、共享库等途径实现与外部程序代码或软件系统的连接。一个 LabVIEW 程序包括 3 个主要部分:前面板、框图程序、图标/接线端口。前面板是 LabVIEW 程序的交互式图形化用户界面,用于设置用户输入和显示程序输出,目的是仿真真实仪器的前面板。框图程序则是利用图形语言对前面板上的控制量和指示量进行控制。图标/接线端口用于把 LabVIEW 程序定义成一个子程序,以便在其他程序中加以调用,这使 LabVIEW 得以实现层次化、模块化编程<sup>[8]</sup>。

本系统采用模块化设计思想,主要包括数据管理模块、数据采集模块、数据分析模块和报表打印模块等。由于模块众多,在一个面板上很难显示出所有内容,一般可以通过 Tab Control 控件进行分页显示,但如果前面板控件过多,程序框图必然繁乱,因此,本系统采用多面板方式设计虚拟分析系统软件。

数据管理模块采用了基于 ADO 技术的免费并开源的 LabVIEW 数据库访问包 LabSQL,通过在 LabVIEW 中调用子 VI 的方式实现对数据库的访问,主要是完成如被检单位、被检人、被检物品等基本信息的录入、查询和删除等操作。数据采集模块利用 LabVIEW 强大的虚拟仪器软件架构 VISA 完成上位机与终端检测硬件装置之间的通讯,对 TSL230 光频转换器输出的对应农药残留量的频率值进行采集并实时显示和存储。数据分析模块主要是对采集得到的频率数据进行处理,包括根据频率值计算抑制率的大小、绘制农药质量浓度和抑制率关系曲线和被抽检的各种农产品农药残留曲线等。报表打印主要是编辑和打印检测报告,其中报告能以 Word 形式生成。系统帮助主要是介绍系统的使用方法和注意事项。由于图表众多,这里仅列出分析模块前面板图(图 3)。

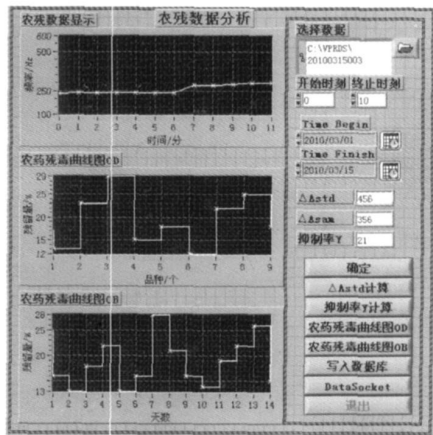


图 3 数据分析模块前面板

5 检测结果分析

将甲胺磷农药标准液加蒸馏水稀释成不同质量浓度的溶液, 利用本系统进行检测, 得出的甲胺磷溶液质量浓度与抑制率关系曲线如图 4 所示, 这与裘正军等<sup>[1]</sup>根据农业行业标准 NY/T 448-2001“蔬菜上有机磷和氨基甲酸酯类农药残留快速检测方法”进行试验的结果相吻合。

图 4 还表明, 抑制率与残留农药的质量浓度呈正相关, 即抑制率随着农药残留量的升高而升高。当抑制率 $\leq 40\%$ 时, 农药残留量较低; 当抑制率 $\geq 70\%$ 时, 农药残留量较高。

此外, 还进行了样本试验, 即对购买的新鲜大白菜(样本 A)和喷洒了 12 mg/L 甲胺磷农药的大白菜

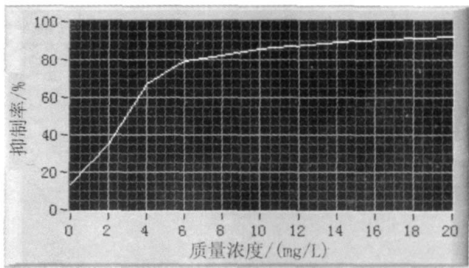


图 4 甲胺磷溶液质量浓度与抑制率的关系曲线

(样本 B), 分别利用本系统和化学实验室的分光光度计进行检测, 测试结果如表 1 所示。从表 1 可以看出, 本系统的检测结果与分光光度计检测结果没有太大差异, 而本系统测量结果的稳定性甚至优于分光光度计, 因此, 本系统完全可以满足农产品农药残留量的检测。

表 1 大白菜样本中甲胺磷农药的测试结果

样本	检测仪器	抑制率/%					平均值/%	极差/ 个百分点	均方差
		1	2	3	4	5			
A	分光光度计	12.56	12.79	17.25	11.55	17.32	14.29	5.77	2.48
	本系统	11.90	12.48	13.58	15.65	15.46	13.81	3.75	1.52
B	分光光度计	86.80	89.45	94.66	83.79	76.10	86.16	18.56	6.17
	本系统	79.25	86.22	86.50	88.95	85.58	85.30	9.70	3.23

6 结论与讨论

本研究建立的农残检测系统是在酶抑制法检测农药残留原理的基础上, 采用光频转换器获得正比于样品提取液中农药残留量大小的频率值, 进一步利用单片机对其进行采集、处理, 并结合无线传感器网络进行数据传输。上位机设计的虚拟农残检测系统能进行数据的采集、存储、回放和分析, 功能强大, 操作简便。本系统实现了对果蔬中农药残留的快速检测, 可以在农产品生产加工及市场检测监督领域推广使用, 具有良好的应用前景。

本系统的创新点: 将无线传感器网络技术、虚拟仪器技术、单片机技术集成为一体, 实现了农药残留快速检测仪的微型化和智能化, 设计方案合理。

参考文献:

[ 1 ] 裘正军, 陆江峰, 何勇. 基于酶抑法的农产品农药残留快速检测系统及影响因素分析[ J ]. 农业工程学报,

2007, 23(9): 229-233.  
[ 2 ] 张帆, 李忠海, 王利兵, 等. 食品中氨基甲酸酯类农药残留的检测方法研究进展[ J ]. 中国食物与营养, 2010 (2): 64-67.  
[ 3 ] 白宇. 多通道农药残留检测系统设计[ D ]. 吉林: 吉林大学, 2008.  
[ 4 ] 汪方斌, 钱玮, 丁俊香. 一种采用 TMS320LF2407A 的农药残留快速检测仪[ J ]. 自动化与仪器仪表, 2006, 126(4): 58-60.  
[ 5 ] 刘路明, 凌志浩, 左芸. 用于过程工业的无线传感器网络技术[ J ]. 化工自动化及仪表, 2010, 37(1): 1-4.  
[ 6 ] 林春绵, 胡晓燕, 张安平. 酶抑制法快速检测有机磷农药残留的研究进展[ J ]. 浙江工业大学学报, 2009, 37 (4): 386-391.  
[ 7 ] 付聪, 付慧生, 李益青. 基于 nRF24L01 的无线温度采集控制系统的设计[ J ]. 工矿自动化, 2010, 1(1): 73-75.  
[ 8 ] 黄志亮, 雷勇. 基于 LabVIEW 的航空发动机全流程参数测量数据采集系统[ J ]. 测控技术, 2010, 29(1): 31-34.