

高斌,张文爱,邹伟,等. 基于无线通信的农药流量监控系统设计[J]. 江苏农业科学,2018,46(7):239-242.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.07.060

# 基于无线通信的农药流量监控系统设计

高斌<sup>1,2</sup>, 张文爱<sup>1</sup>, 邹伟<sup>2,3,4</sup>, 王秀<sup>2,3</sup>

(1. 太原理工大学信息工程学院,山西晋中 030600; 2. 国家农业智能装备工程技术研究中心,北京 100097;  
3. 农业部农业信息技术重点实验室,北京 100097; 4. 农业智能装备技术北京市重点实验室,北京 100097)

**摘要:**针对喷药机人工操作农药流量控制精度低、过程监控实时性差等问题,设计了一套基于无线通信的农药流量监控系统。该系统主要由流量监控软件和流量控制装置组成,通过蓝牙模块实现无线数据通信。设计了上位机操作界面,实现了流量监控功能;下位机采集并处理流量数据,经过PID算法实时调节驱动器进而控制泵转速,实现流量闭环控制。进行了流量传感器标定试验和喷药流量测定试验,结果表明,流经流量传感器的液体流量和其输出脉冲频率有良好的线性关系;系统设置流量值与实际流量值的最小相对误差为1.72%,平均相对误差为2.63%,精度较高。

**关键词:**蓝牙通信;AVR;闭环控制;流量监控

**中图分类号:** S126;S24 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)07-0239-03

在农业管理作业中,病虫害防治作为十分重要的环节,同时也是劳动强度最大的作业环节,很大程度上决定了农产品的品质和产量<sup>[1-3]</sup>。喷洒农药是病虫害防治的主要措施,而我国农药用量偏高、利用率偏低一直是行业最重视的突出问题<sup>[4-7]</sup>。“控量提效”是农药使用零增长的必要措施,农药的流量监控则是其中的一个重要组成部分<sup>[8]</sup>。

我国目前的农业生产应用中,大多数仍采用人工操作完成喷药机的电磁阀启停控制,这使得农药流量控制精度低,造成了大量的农药浪费和环境污染。并且由于人工操作分散,不利于对喷药过程实时监控,若管路出现故障不能及时发现,非常容易造成漏喷现象,从而影响农产品的产量和质量。在多路农药管路流量控制时,信号线杂乱,为现场布线带来难题;且线路易出现连接错误、短路和腐蚀损坏等情况,影响系统的可靠性<sup>[9-14]</sup>。

针对以上存在的问题,本研究设计了一套农药流量监控系统,采用近距离无线通信稳定的蓝牙模块取代有线电缆作为上、下位机的通信通道。系统能够实现上位机操作界面流量值设置,流量曲线监控及数值显示,并通过PID算法处理检测到的流量传感器信号进行流量的精确闭环控制。

## 1 系统设计

### 1.1 系统硬件构成

流量监控系统主要由控制器、流量传感器、蓝牙模块、显示模块、驱动器、隔膜泵以及其他外围电路组成,该系统的结构框见图1。其中,AVR单片机为控制核心,能够实现采集并处理传感器数据、控制驱动器以及上位机进行数据交互。

收稿日期:2017-08-04

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(编号:201303031);国家重点研发计划(编号:2016YFD0700104)。

作者简介:高斌(1990—),男,山西临汾人,硕士研究生,主要从事智能信息处理研究。E-mail:gaob\_china@163.com。

通信作者:王秀,研究员,主要从事农业智能装备研究。E-mail:wangx@nrcita.org.cn。

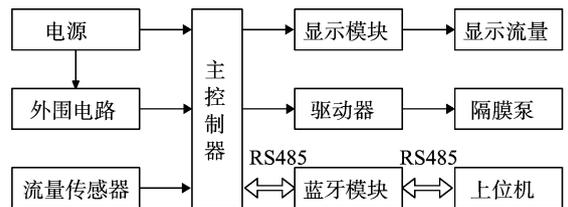


图1 系统结构框

**1.1.1 控制器** 农药流量监控系统采用AVR ATmega16单片机作为控制核心,结合MAX485通信模块、TLV5617型D/A转换模块等进行流量监控作业。AVR ATmega16单片机的定时计数器有一个非常有特点的功能——T/C1的输入捕捉功能。该功能可以应用于精确捕捉一个外部事件的发生,记录事件发生的时间印记。因此,利用输入捕捉功能可以实现对流量传感器信号的精确测量。MAX485通信模块是AVR控制器与上位机的连接纽带,它完成将TTL电平转换为RS-485电平的功能。D/A转换模块实现对驱动器的模拟信号输出控制。

**1.1.2 流量测量模块** 流量测量模块选用Gems公司的霍尔效应FT-110系列部件号为173931的涡轮流量传感器。该型号流量传感器的流量测量范围为0.5~5.0 L/min,其测量结果不受系统压力变化影响,适合在线检测流量。由于流量传感器输出的脉冲信号高电平为12V,需经过1个光电耦合电路将其转换为5V供单片机接收。光电耦合电路见图2。

**1.1.3 蓝牙模块** 蓝牙模块选用广州汇承信息科技有限公司的HC-06 2.0蓝牙串口通信模块,它的工作电流不大于50mA,功耗较低,有效通信距离可达10m。在该系统中HC-06蓝牙的模块工作电压为3.3V,程序中设定波特率为9600 b/s。使用时需要把蓝牙的RX、TX端口通过TTL-RS485转换模块分别与单片机和上位机相连,TTL-RS485转换模块兼容3.3V/5V TTL电平标准,硬件连接正确以后就可以与单片机和上位机实现透传功能。

**1.1.4 驱动器** 为了满足设计性能要求,驱动隔膜泵正常运转,本系统采用成都爱控电子科技有限公司型号为

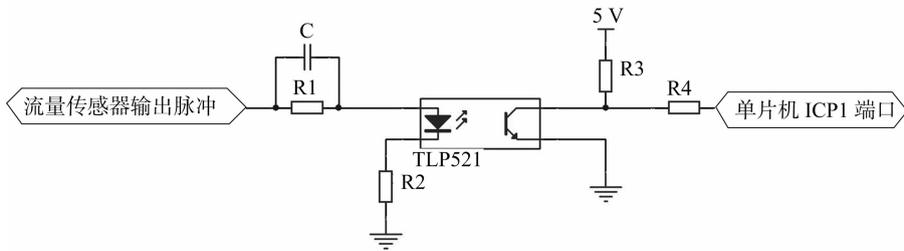


图2 光电耦合电路

AQMD3610NS的直流有刷电机驱动器,调速方式设为0~5 V模拟信号PWM调速。系统工作时,上位机下发设定流量给主控制器,主控制器输出相应的模拟电压信号给驱动器,从而驱动隔膜泵达到目标转速。主控制器捕捉流量传感器测得流量信号,与设定值对比,根据测量值与设定值的偏差,调整模

拟电压值的大小。当测量值超过设定值时,通过减小模拟电压值降低电机转速,流量减小;当测量值低于设定值时,增大模拟电压值增加电机转速,流量增大;系统实时调节,从而使实际流量维持在设定值合理区间内。流量控制系统见图3。

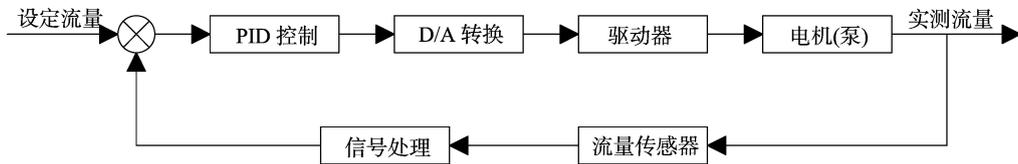


图3 流量控制系统

### 1.2 系统软件设计

1.2.1 上位机软件设计 系统使用工控机作为人机交互界面,上位机软件设计开发采用北京九思易自动化软件有限公司的组态软件“易控(INSEPEC)”,软件主要具有流量值设置、曲线监控及数显的功能。软件界面见图4。

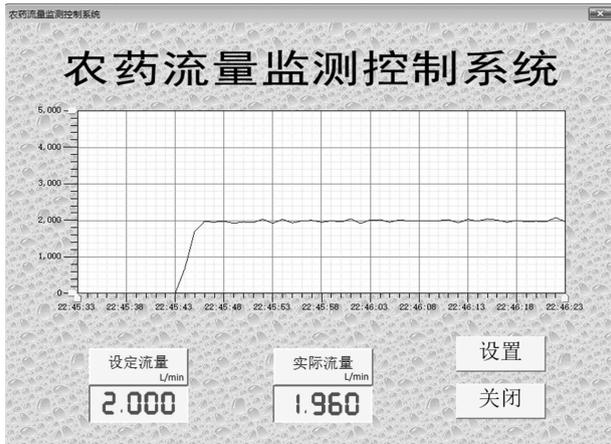


图4 软件操作界面

上位机通过打开/关闭按钮控制与下位机通信,通信协议采用MODBUS协议,按钮按下后自动对设置流量和实测流量进行清零初始化。用户键入设定流量值,单击设置按钮,上位机程序将设定流量值下发给下位机。上位机通过扫描查询方式读取下位机采集的流量数据,查询周期为300 ms。软件将读回的流量数字显示并进行曲线监控,还可以将相应的数据保存在数据库中,供以后分析使用。

1.2.2 下位机软件设计 流量系统的单片机控制系统采用功能模块化程序结构。根据模块化软件设计的要求将整个程序主要分为主程序设计、T/C1 中断服务程序以及串口通信和LED显示子程序等。

1.2.2.1 主程序设计 主程序的功能主要有 I/O 端口、

USART、定时器和LED显示模块初始化,使能全局中断等。当单片机接收到检测指令后,计算得到与设定流量对应的模拟电压值输出给电机驱动器。当单片机捕捉到流量传感器传回的脉冲信号时,程序会跳转到T/C1的捕捉中断处理函数。单片机将计算的瞬时流量值通过串口发送到上位机,并在LED显示器上显示测量结果。单片机的主程序流程见图5。

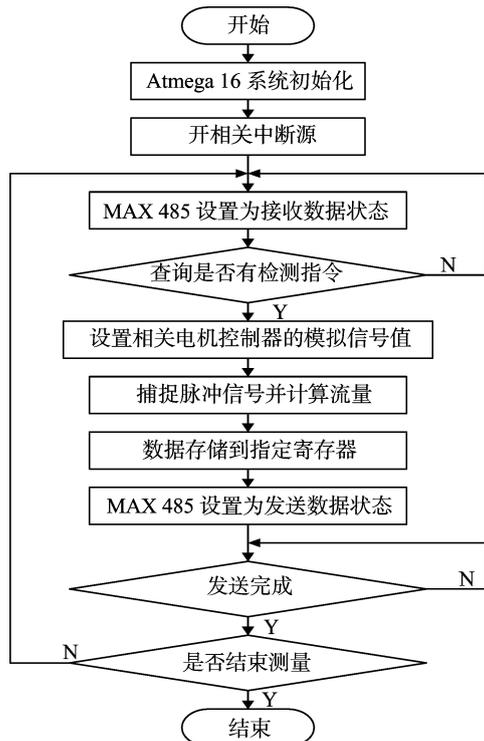


图5 主程序流程

1.2.2.2 T/C1 中断服务程序 在本流量系统中仅使用1个16位的T/C1进行流量传感器脉冲信号周期的测量,涉及T/C1的溢出中断和捕捉中断2个中断处理函数。单片机用

7.372 8 MHz 晶振, T/C1 工作在计数器方式, 时钟源选用  $\text{clk}_{V_0}/8$ , 即将系统时钟进行 8 分频, 因此每计 1 个数的时间为  $1.085 \mu\text{s}$ 。

T/C1 设置为引脚 ICP1 的上升沿为外部事件的触发。一旦 ICP1 上出现跳变, T/C1 的硬件将自动同步地把当前 TCNT1 的值复制到 ICR1 中, 并申请捕捉中断。在 T/C1 捕捉中断服务程序中记录下 2 个 ICR1 的值: 1 个为第 1 次触发时的 T/C1 值, 1 个为第 2 次触发时 T/C1 值。当 2 个值都记录下来后, 将 2 个记录的数据进行有效性判断和周期频率的换算, 随即关闭 T/C1 所有的中断并将结果交给主程序。

程序中还使用了 T/C1 的溢出中断, 该中断主要用于记录溢出的次数。T/C1 计满 1 次需要 65 535 个系统时钟, 约  $65\ 535 \times 1.085 \mu\text{s} \approx 71.1 \text{ ms}$ 。当溢出次数大于 28 即所测频率小于 0.5 Hz 时, 数据无效。单片机 T/C1 中断服务程序流程见图 6。

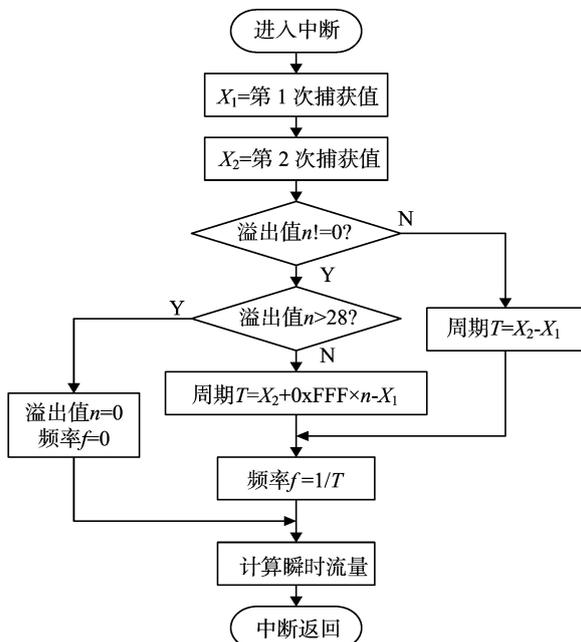


图6 T/C1中断程序流程

## 2 试验研究

### 2.1 流量传感器标定试验

流量传感器使用前, 先对其进行流量( $Q$ ) - 脉冲频率( $f$ ) 标定, FT-110 流量传感器标定试验数据见表 1。采用 Matlab 对表 1 的数据进行曲线拟合, 拟合方式采用基于单一变量的多项式逼近拟合, 得到流量( $Q$ ) - 脉冲频率( $f$ ) 方程式:

$$Q = 9.532f - 202.9. \quad (1)$$

式中:  $f$  为脉冲频率(Hz);  $Q$  为流量(mL)。

从表 1 可以看出, 流经流量传感器的液体流量和其输出脉冲频率有良好的线性关系。将相应方程写入到控制程序, 就可以根据实际需要控制喷药流量。

### 2.2 喷药流量测定试验

喷药流量测定试验的测定方法采用单位时间计量法, 定时时间为 1 min, 对管道内的流量进行测量。由于液体的体积在直接测量时精确度不高, 误差较大, 因此, 本试验通过测量液体质量间接测得液体体积, 再根据液体密度将重量换算为体积。

表 1 FT-110 流量传感器标定试验数据

流量传感器 输出频率(Hz)	标定记录实测流量(mL/min)			
	第1组	第2组	第3组	平均流量
92	832	817	832	827
118	1 105	1 096	1 090	1 097
158	1 471	1 476	1 463	1 470
194	1 756	1 739	1 746	1 747
235	2 177	2 183	2 180	2 180
268	2 570	2 563	2 586	2 573
300	2 847	2 852	2 860	2 853
339	3 185	3 177	3 159	3 177
373	3 570	3 578	3 571	3 573
407	3 992	4 003	4 005	4 000

试验所用高压隔膜泵的最大输出流量为 5 L/min, 流量传感器的有效测量范围为 0.5 ~ 5.0 L/min。因此, 本研究选择隔膜泵最大输出流量的 20% ~ 80%, 即 1 ~ 4 L/min 作为试验设定流量值调节范围进行系统监测验证试验, 增量为 0.5 L/min。其中, 设定流量由上位机设定, 测量值由监测系统的数得到, 实际流量值通过对 1 min 管道流出的液体称质量间接测得。每组试验重复 3 次, 试验测定数据见表 2。

表 2 试验测量数据分析

设定流量值 (L/min)	测量值(L/min)		实际流量值 (L/min)	相对误差 (%)
	最小值	最大值		
1.0	0.941	1.037	0.962	3.80
	0.955	1.028		
	0.926	0.996		
1.5	1.439	1.533	1.464	2.40
	1.432	1.542		
	1.427	1.526		
2.0	1.923	2.047	1.955	2.25
	1.900	2.041		
	1.944	2.058		
2.5	2.407	2.524	2.432	2.72
	2.429	2.559		
	2.393	2.535		
3.0	2.866	3.028	2.903	3.23
	2.908	3.081		
	2.914	3.076		
3.5	3.375	3.585	3.396	2.97
	3.402	3.612		
	3.358	3.588		
4.0	3.857	4.098	3.914	2.15
	3.865	4.122		
	3.906	4.135		

注: 相对误差 = |设定流量值 - 实际流量值| ÷ 设定流量值 × 100%。

从表 2 可以看出, 本流量监控系统在各测试点的测量准确度较高, 设定流量与实际流量之间的最小相对误差为 1.72%, 平均相对误差为 2.63%, 系统具有较高的测量精度。

## 3 结论

设计了基于无线通信的农药流量监控系统, 通过蓝牙技术完成数据通信, 实现了喷药管路中农药流量的监测及控制。流量传感器标定试验表明, 流经流量传感器的液体流量和其输出的频率信号具有良好的线性关系, 保证了流量的监控精度。喷药流量测定试验表明, 本流量监控系统具有较高的测

李昭阳,高镜婷,宋明晓. 吉林省中部地区畜禽养殖温室气体排放特征[J]. 江苏农业科学,2018,46(7):242-246.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.07.061

# 吉林省中部地区畜禽养殖温室气体排放特征

李昭阳,高镜婷,宋明晓

(吉林大学环境与资源学院,吉林长春 130026)

**摘要:**为了解吉林省中部地区畜禽养殖温室气体的排放量和空间分布特征,根据联合国政府间气候变化专门委员会(intergovernmental panel on climate change,简称 IPCC)(2006)提供的方法,通过获取 2005—2015 年吉林省中部地区畜禽产量和排放因子,估算农业畜禽养殖温室气体排放量。结果表明,2005—2014 年平均甲烷排放总量为 1 175.70 万 t CO<sub>2</sub>-eq/年,氧化亚氮排放总量 243.66 万 t CO<sub>2</sub>-eq/年;2005—2015 年期间畜禽温室气体排放量呈先上升后下降趋于平缓趋势,2007—2010 年排放量高于 11 年平均均值(1 419.36 万 t CO<sub>2</sub>-eq/年),这与吉林省其他牛、猪、奶牛和山羊养殖数量变化有着明显关系;2005—2015 年四平市、吉林市、榆树市、农安县和德惠市平均温室气体排放量为 6 719.9 万 t CO<sub>2</sub>-eq,占吉林省中部温室气体排放量的 44.21%。

**关键词:**吉林省中部;畜禽养殖;温室气体;排放量;时空分布

**中图分类号:** S181;X713 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)07-0242-05

气候变化已经成为当今人类面临的最为严峻的全球性环境问题之一,温室气体减排压力日益增大<sup>[1]</sup>。全球接近 35% 的温室气体来源于农业,农业温室气体排放作为全球温室气体的主要来源,同样面临减排压力<sup>[2]</sup>。畜禽养殖业是农业产业体系的重要组成部分,也是农业温室气体排放的重点领域。联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations,简称 FAO)2006 年的报告显示,每年由牛、羊、马、骆驼、猪和家禽排放温室气体的 CO<sub>2</sub> 当量占全球排放量的 18%<sup>[3]</sup>。畜禽温室气体主要为甲烷(CH<sub>4</sub>)和氧化亚氮

(N<sub>2</sub>O),甲烷(CH<sub>4</sub>)排放主要来自于各畜种的肠道,畜禽废弃物在管理过程中同时产生甲烷(CH<sub>4</sub>)和氧化亚氮(N<sub>2</sub>O)<sup>[4]</sup>。国内外学者对畜禽温室气体排放特征进行了大量的研究。胡向东等利用联合国政府间气候变化专门委员会(intergovernmental panel on climate change,简称 IPCC)(2006)公布的畜禽温室气体排放系数和计算方法,结合我国畜牧业发展实际,估算了全国 2000—2007 年和各省(市、区)2007 年畜禽温室气体的排放量,结果表明,2000—2007 年畜禽温室气体排放量总体呈现下降的趋势,黄牛甲烷排放量最大,生猪氧化亚氮排放量最大<sup>[5]</sup>;FAO 利用 IPCC 的方法和系数,估算了我国 2004 年主要畜禽的温室气体排放量<sup>[3]</sup>;徐兴英等估算了江苏省 2000—2009 年畜禽温室气体排放量,结果表明,2000—2009 年期间江苏省畜禽温室气体排放量总体呈下降的趋势<sup>[6]</sup>。刘月仙等估算了 1978—2009 年期间北京地区畜禽养殖温室气体排放的时空分布,结果表明,北京地区畜禽温

收稿日期:2017-10-17

基金项目:国家自然科学基金(编号:41201080);吉林省环境保护科研项目(编号:吉环科字第 2012-15 号)。

作者简介:李昭阳(1978—),女,吉林长春人,博士,副教授,硕士生导师,主要从事生态环境系统工程与数字化管理研究。E-mail: lizhaoyang227@163.com。

量精度,设定流量与实际流量之间的最小相对误差为 1.72%,平均相对误差为 2.63%。

## 参考文献:

- [1]傅兵,曹卫星. 美国农业信息化的特点与启示[J]. 江苏农业科学,2006(6):7-10.
- [2]胡豹,楼洪兴. 我国农作物病虫害防治技术的专利战略与管理[J]. 浙江农业学报,2014,26(2):495-502.
- [3]夏敬源. 公共植保,绿色植保的发展与展望[J]. 中国植保导刊,2010,30(1):4-7.
- [4]赵春江,薛绪掌,王秀,等. 精准农业技术体系的研究进展与展望[J]. 农业工程学报,2003,19(4):7-12.
- [5]傅泽田,祁力钧,王俊红. 精准施药技术研究进展与对策[J]. 农业机械学报,2007,38(1):189-192.
- [6]张波,翟长远,李瀚哲,等. 精准施药技术与装备发展现状分析[J]. 农机化研究,2016(4):1-5.
- [7]翟长远,朱瑞祥,张佐经,等. 精准施药技术现状分析[J]. 农机

化研究,2010,32(5):9-12.

- [8]袁会珠,杨代斌,闫晓静,等. 农药有效利用率与喷雾技术优化[J]. 植物保护,2011,37(5):14-20.
- [9]刘瑾,杨海马. 蓝牙技术在流量检测中的应用[J]. 仪器仪表学报,2005,26(增刊2):584-585.
- [10]白云飞,王平,孙攀,等. 基于蓝牙通信的流量测控系统设计与实现[J]. 自动化与仪表,2007,22(1):13-15.
- [11]翟长远,朱瑞祥,黄胜,等. 基于单片机的施药监测系统设计与试验[J]. 农业机械学报,2011,42(8):70-74.
- [12]贺中华,魏文雄,谢云山,等. 基于 C8051F020 与 HART 的液体涡轮流量计设计[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版),2011,23(4):473-477.
- [13]罗长海,孟志军,王沛东,等. 基于超声波的农药流量计设计[J]. 农机化研究,2014(3):194-198.
- [14]Solanelles F,Escola A,Planas S,et al. An electronic control system for pesticide application proportional to the canopy width of tree crops[J]. Biosystems Engineering,2006,95(4):473-481.