

农业大棚有害气体分布式无线测控系统的设计

魏 玲, 吴敬凯

(廊坊职业技术学院计算机科学与工程系,河北廊坊 065000)

摘要:针对农业大棚有害气体的自动化排散问题,提出了一种基于嵌入式计算机技术和 RFID 网络的分布式无线测控系统的设计方案。系统分为分布式监控节点和通风控制子系统两大部分,监控节点基于传感器阵列对有害气体 NH_3 、 NO_2 、 SO_2 、 C_2H_4 进行高精度探测,通过 RFID 网络上报数据给通风控制子系统,在数据分类融合及自动决策基础上通过高效执行电路自动调节通风机及时排散有害气体。应用与测试结果表明,该系统测控精度高、响应速度快、运行稳定可靠,能够很好地满足农业大棚有害气体的高性能自动化检测与排散需求,具有较高的实用和推广价值。

关键词:农业大棚;有害气体;分布式;无线测控;嵌入式计算机

中图分类号: S237;TP391.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)07-0380-03

我国是农业大国,设施农业在当今农业现代化发展中占有重要地位。近年来随着农业科技水平的不断提高,温室大棚种植技术得到了迅速推广应用,成为作物培育、蔬果供给及花卉养殖的高效手段。由于大棚内环境相对封闭,空气流通性较差,因此对棚内环境参数的自动实时监控显得尤为重要。目前的自动化设施多集中在对棚内温度、湿度、光照及 CO_2 浓度的监控上^[1-2]。但实践证明,因追施化学肥料、未腐熟粪肥和饼肥等而产生的氨气、二氧化氮、二氧化硫等有毒气体,以及来自塑料薄膜或管材的乙烯等,如果不能及时排散出去,将会危害作物的生长发育,严重时会引起植株枯死和绝收^[3-4]。因此,对上述有害气体的实时监控与排散具有重要意义。然而,目前监测主要依靠人工或半人工方式进行,严重影响着大棚性能和作物的生长安全。

针对这些问题,本研究提出了一种基于嵌入式计算机技术和分布式 RFID 射频识别网络的农业大棚有害气体分布式无线测控系统的设计方案。系统能够实现棚内各有害气体浓度的分布式高精度多点探测,并能通过高效执行电路自动调节通风机及时排散有害气体,取得了很好的实用效果。

1 总体结构与工作原理

本系统的整体拓扑结构如图 1 所示,主要分为监测节点和通风控制子系统两大部分。两部分之间通过 RFID 2.4 GHz 无线网络实现通信。监测节点采用分布式结构,安装在棚内不同的典型位置上,通过传感器阵列对有害气体浓度进行多点分布式测量,并通过 RFID 网络将数据连同本节点识别码一同发送给通风机控制子系统,子系统主控制器对各节点数据进行统计分析,将来自不同节点的有害气体浓度进行分类融合并进行多阈值判定,当某有害气体浓度出现持续超标时,立即启动通风机进行排散,实现了有害气体的智能化自动化监测与控制。

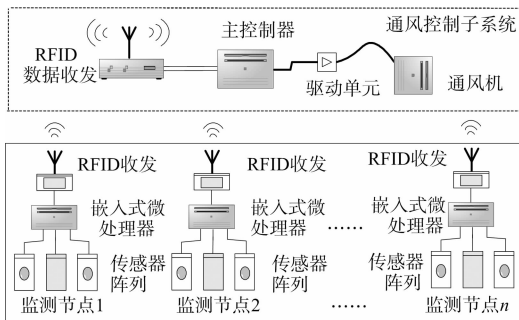


图1 系统总体拓扑结构

2 硬件设计

系统硬件的设计采用了模块化思想,整体设计工作分为监测节点硬件和通风控制子系统硬件两大部分,均基于嵌入式微处理器 EMCU 设计实现。

2.1 监测节点硬件设计

监测节点的硬件主要包括有害气体传感检测电路、RFID 无线数据通信电路、电源与外围支持电路 3 部分。其中,电源与外围支持电路的设计可参考文献[5];有害气体传感检测电路和 RFID 无线数据通信电路的设计是该部分的重点,其原理如图 2 所示。

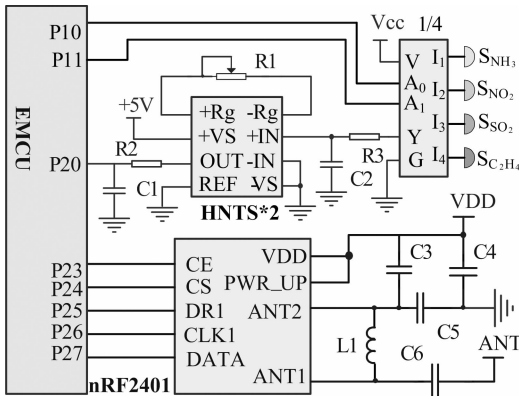


图2 监测节点硬件设计原理

2.1.1 有害气体传感检测电路 温室内的有害气体主要包

收稿日期:20123-03-26

作者简介:魏 玲(1972—),女,天津人,硕士,副教授,主要从事计算机应用研究。E-mail:lfweiling@163.com。

括氨气 NH_3 、二氧化氮 NO_2 、二氧化硫 SO_2 、乙烯 C_2H_4 等,主要来自追施化学肥料、未腐熟粪肥、饼肥以及大棚设施中的塑料薄膜等。图 2 中 4×1 传感器阵列 S_{NH_3} 、 S_{NO_2} 、 S_{SO_2} 、 $\text{S}_{\text{C}_2\text{H}_4}$ 分别实现上述 4 种气体的浓度探测。设计中采用了分时轮询机制,EMCU 通过引脚 P10 和 P11 控制 4 路选择器来实现传感器阵列中的 4 路信号循环输入,不仅提高了 EMCU 的资源利用率而且增强了传感信号的驱动能力,图 2 中 HNTS * 2 为两级高增益信号放大器。考虑到这些气体对作物产生危害的浓度门限值均较低^[3-4,6], NH_3 浓度达到 $5 \mu\text{L/L}$ 时可使作物受到危害, NO_2 浓度达到 $5 \mu\text{L/L}$ 时作物会出现中毒症状, SO_2 浓度达到 $0.5 \sim 1.0 \mu\text{L/L}$ 时会危害作物、持续过高会使植株枯死, C_2H_4 浓度达到 $1.0 \mu\text{L/L}$ 时会对作物造成危害,设计中选用了高灵敏度高精度传感器以适应系统要求。

2.1.2 RFID 无线数据通信电路 该部分电路基于单片射频收发芯片 nRF2401^[7] 设计实现,工作在 2.4 GHz ISM 频段。nRF2401 内置频率合成、功率放大、晶体振荡和调制等功能模块,并具有工作模式丰富、能耗低的优点,利于性能提升和节能设计。如图 2 所示,设计中 EMCU 通过可编程通用接口线 GPIO 引脚 P23 - P27 连接 nRF2401,实现数据收发及命令控制。图 2 中 ANT 为信号收发天线,L1、C5 和 C6 构成调制电路。

2.2 通风控制子系统硬件设计

通风控制子系统的硬件设计原理如图 3 所示。嵌入式微控制器 EMCU 通过 P00 到 P04 引脚与 nRF2401 连接,实现与各室内节点的 RFID 无线数据通信;并通过 P11 控制光电耦合器实现通风机的电源通断控制。图 3 中,晶体管输出型光电耦合器采用 Toshiba 公司的高性能单片集成产品 TLP521-1^[8],能够很好地起到隔离保护和驱动作用,其输出信号控制晶体管 9013 的基极,正向偏置导通时为继电器 S1 提供工作电流,进而实现对通风机的启停控制。续流二极管 IN4001 与继电器并联,起到保护接口电路的作用,避免在继电器截止时线圈能量反向击穿驱动器件。

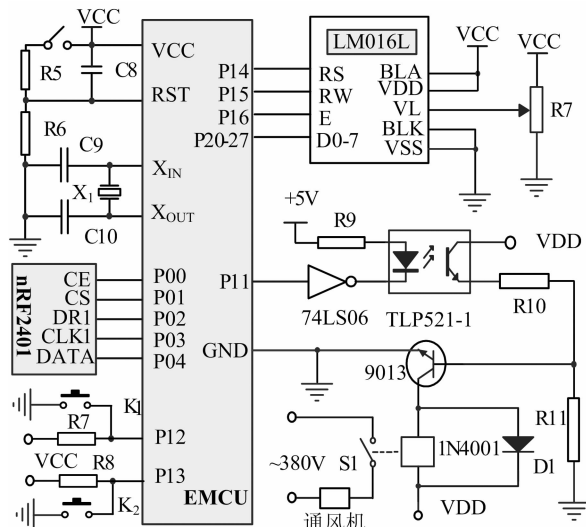


图3 通风控制子系统硬件设计原理

为方便用户与系统进行交互,设计中通过 P12、P13 提供了双控制键 K1 和 K2。用户按键时,对应引脚的输入状态由

高变低,程序在下降沿识别按键并实现菜单操作;液晶屏 LM016L 用来实现系统信息的输出,为用户及时了解系统状态提供方便,可变电阻器 R7 用于调节屏幕亮度。此外,图 3 中的 R5、R6、C8 - C10 及 X1 构成系统的上电/手动复位及晶振电路。

3 软件设计

各监测节点及通风控制子系统的软件均采用操作系统 + 应用程序的设计模式。操作系统选用了开源嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C/OS-II}$,其在 EMCU 上的移植方法可参考文献[9];应用程序的研发主要基于嵌入式 C 语言^[10] 代码编程实现。

3.1 监测节点程序设计

温室各监测节点的程序流程如图 4 所示。上电启动后,首先进行资源自检与软硬件初始化,然后进入程序主循环。

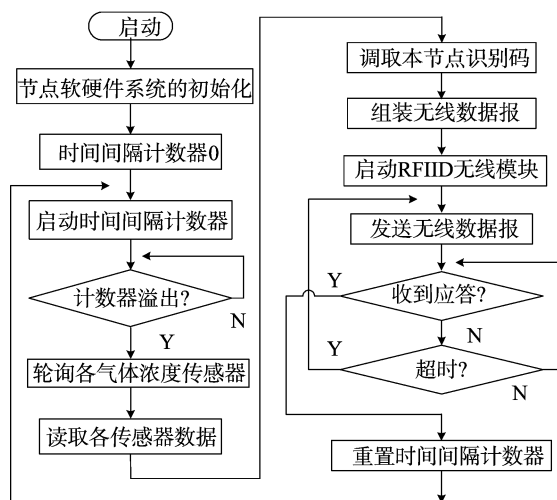


图4 监测节点程序流程

在主循环中,采用定时探测机制,通过设置并维持 1 个时间间隔计数器来实现传感器的周期性检测和有害气体浓度数据的无线上传。每次时间计数器溢出后,EMCU 采用轮询方式读取各气体浓度传感器的数据并将其与本节点识别码共同组装成无线数据报,然后启动 nRF2401 把数据报发送给通风控制子系统,收到来自通风控制子系统的应答信号后表示发送成功,若长时间收不到应答,则判定为超时,需重新发送数据报并等待应答。之后将间隔计数器重新清除为零并进入下一次循环。

3.2 通风控制子系统程序设计

通风控制子系统的程序流程如图 5 所示。在系统启动并初始化后,程序循环监测无线数据的到来。收到数据后,立即进行解析并提取其中的节点识别码、各有害气体浓度数据,然后显示给用户并将其写入数据缓冲区;当所有监测节点的数据全部到来并每隔 Δt 时间,EMCU 按气体种类对各节点数据进行分类统计并判断是否有气体浓度超标,然后根据判定结果做出通风机启停控制,实现及时换气。

其中,对各节点有害气体的分类统计、融合及判定方法如下:EMCU 每隔 Δt 统计时间对来自各个节点的数据按照有害气体的种类进行统计、融合和判定,若某气体超标,则算法置通风机启动标志 f 为“1”并将其通过 P11 引脚送出,实现通风

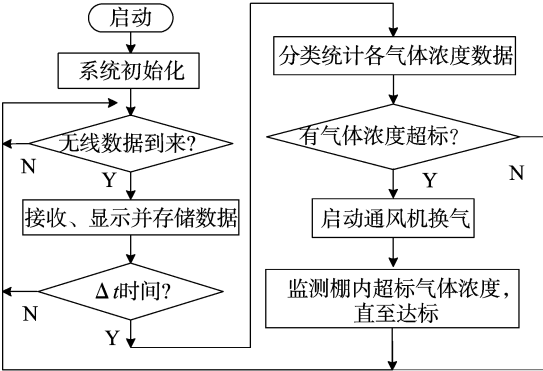


图5 通风控制子系统程序流程

机启动, f 的计算如下式:

$$f=f_{\text{NH}_3}\vee f_{\text{NO}_2}\vee f_{\text{SO}_2}\vee f_{\text{C}_2\text{H}_4}\tag{1}$$

式中: f_{NH_3} 、 f_{NO_2} 、 f_{SO_2} 和 $f_{\text{C}_2\text{H}_4}$ 分别为 4 种气体的超标标志量, 通过如下公式求得:

$$f_i=\begin{cases}1, \bar{S}_i\geq\sigma_i\\0, \text{else}\end{cases}\tag{2}$$

式中: σ_i 为第 i 种气体的判定阈值, \bar{S}_i 为第 i 种气体的各监测节点测量值的加权均值, 计算方法如下:

$$\bar{S}_i=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^n\pi_j\cdot s_j\tag{3}$$

其中: n 为监测节点数, π_j 为各节点的统计权重, s_j 为当前气体的 j 节点测量统计值, 且:

$$s_j=\frac{1}{\Delta t}\int_{t_1}^{\Delta t}s_j^t dt\tag{4}$$

其中: s_j^t 为节点 j 在 t 时刻的当前气体测量值, Δt 为统计间隔时间。

4 应用分析

本系统已成功应用在了廊坊市农业示范园区的 5 栋蔬菜大棚中, 各大棚系统的监测节点数均设置为 20 个, 通风控制子系统配用 WEF-L1 型温室风机。截至目前, 应用时间已达半年, 系统表现出了优良的性能。同时为进行深入的定量分析, 我们对系统进行了测试试验。试验中将系统安装在一个 200 m² 的闲置阳光大棚内, 监测节点数 10 个, 采用高精度控制方式人为升高节点局部气体浓度, 测试系统的检测和控制性能。试验中进行了数据的详细统计分析, 表 1 记录了 5 组(每组各含 10 次)典型试验中的各成分气体测量误差平均百分比。分析可见, NH₃、NO₂、SO₂、C₂H₄ 的平均测量误差分别为 1.769 9%、1.224 6%、1.814 3%、1.788 9%, 均低于 2%, 充分验证了系统检测的高精度特性。

表 1 各成分气体的测量误差数据

序号	NH ₃ 误差 (%)	NO ₂ 误差 (%)	SO ₂ 误差 (%)	C ₂ H ₄ 误差 (%)
1	1.600 2	0.986 5	2.049 2	1.329 5
2	1.870 5	1.318 2	1.287 6	2.152 1
3	1.762 5	1.428 6	1.634 2	1.495 2
4	1.590 8	1.123 2	1.839 2	2.037 6
5	2.025 6	1.266 7	2.261 5	1.930 2

图 6 示出了系统 10 组典型测试的平均控制响应时间的数据统计情况。分析可见, 从节点满足触发条件到系统启动通风设备的平均响应时间均不超过 3.5 s, 总体均值仅为 3.073 s, 标准偏差为 0.181, 这些数据充分表明系统响应迅速且性能稳定可靠。

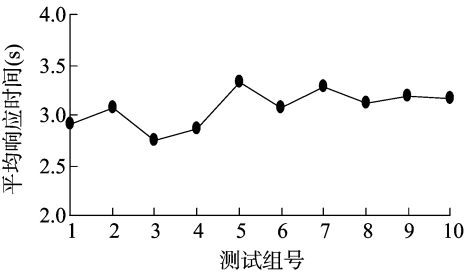


图6 控制响应测试数据的统计分析

5 结论

温室大棚内的塑料管材施用及追施肥料等会产生多种有害气体, 其浓度的不断积累上升会对作物生长构成威胁、严重时会造成植株病变、枯死甚至绝收。针对这些问题提出了一种基于嵌入式计算机技术和分布式 RFID 网络的大棚有害气体分布式无线测控系统的设计方案。基于分布式监测节点对有害气体 NH₃、NO₂、SO₂、C₂H₄ 进行高精度传感探测, 通过 RFID 网络上报给通风控制子系统, 在自动决策基础上通过高效执行电路自动调节通风机及时排除危害。应用分析及测试数据验证了系统的高效性和稳定性, 提高了温室大棚的测控自动化和分布式水平, 实用意义和推广价值较高。

参考文献:

[1] 韩华峰, 杜克明, 孙忠富, 等. 基于 ZigBee 网络的温室环境远程监控系统设计与应用[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 158-163.

[2] 王纪章, 李萍萍, 彭玉礼. 基于无线网络的温室环境监控系统[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(12): 373-375.

[3] 谢贵华, 赖红丽. 大棚蔬菜有害气体及生理病害的防治技术[J]. 中国果蔬, 2011(3): 32-33.

[4] 周细红, 曾清如, 毛小云, 等. 尿素和包膜尿素对大棚内有害气体浓度变化的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(9): 1604-1608.

[5] 孟海斌, 张红雨. 嵌入式系统电源芯片选型与应用[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2010(12): 7-10.

[6] 张继元, 李 京. 塑料大棚内有害气体的预防[J]. 现代化农业, 2000(1): 35-36.

[7] Nordic. Single chip 2.4 GHz transceiver nRF2401 [EB/OL]. [2013-2-18]. <http://nrf2401.chinaicmart.com>.

[8] Toshiba. Datasheet of photocoupler gaAs ired & photo-transistor TLP521-1 [EB/OL]. [2013-2-18]. <http://www.semicon.toshiba.co.jp/eng/>.

[9] 吕志刚, 王 鹏. 基于 μC/OS-II 的流量计量控制仪的设计[J]. 自动化与仪表, 2011(7): 26-29.

[10] 姜换新. ARM 嵌入式系统 C 语言编程[J]. 计算机应用与软件, 2003(10): 15-16, 53.