

低功耗无线直流电磁阀及其控制模块设计与应用^{*}

申长军 郑文刚 孙刚 闫华 邢振

(国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097)

【摘要】 针对当前自动化灌溉控制系统中大量铺设线缆带来的系统安装、维护、扩展困难等问题,提出了一个无线通信的灌溉控制系统方案。设计了一种基于OOK调制并使用电池供电的低功耗无线直流闭锁电磁阀。提出了具有数字和开关量输入接口的发射控制模块设计和实现方法,并以一个园区的温室灌溉为例,提供了一个基于无线电磁阀的温室灌溉控制系统的应用实例。

关键词: 自动灌溉 无线通信 直流电磁阀 设计

中图分类号: S274.2; TN919.72

文献标识码: A

Development and Application of Low Power Wireless DC Solenoid Valve and Controlling Module

Shen Changjun Zheng Wengang Sun Gang Yan Hua Xing Zhen

(National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China)

Abstract

The mass layout of the cable in field brings many problems in the automatic irrigation control system such as installation, maintenance, and extension. This article suggests a wireless broadcast irrigation control system and designs a low power wireless DC solenoid valve based on OOK modulation and powered by battery. It also introduces how to design and implement the transmission control module with discrete input and digital input. Finally, it provides an application example of automatic irrigation control system based on wireless solenoid valve throughout the greenhouse irrigation in a plantation.

Key words Automatic irrigation, Wireless communication, Solenoid valve, Design

引言

随着全球淡水资源的日益紧张及灌溉成本的不断上升,具有节水、高效的自动灌溉控制系统被广泛应用,灌溉自动控制技术在全球范围内快速发展,控制技术也从简单的自动控制发展到针对作物和土壤的精准灌溉^[1]。但是,随着灌溉规模及灌溉精度的提高,作为灌溉控制主要执行设备的电磁阀数量也在快速增加,控制系统铺设的大量线缆带来系统安装、维护、扩展困难等诸多问题,同时也影响了田间耕作。为解决这一问题,近年来出现了多种研究方向。利用编解码器实现供电线路上的通信是一种减

少电缆数量和提高系统可扩展性的有效方法^[2]。王学峰提出了使用寻呼编码技术进行大面积农田灌溉^[3]。大量无线通信技术也被广泛应用到灌溉控制系统中^[4~5],特别是随着无线传感器网络(WSN)技术的发展,利用具有自动组网特性的无线网络实现无线灌溉控制的研究不断增加^[6~8]。本文从农业生产实际需求出发,通过研究电磁阀低功耗无线接收技术,借鉴无线通信原理,设计基于无线直流电磁阀的灌溉控制系统。

1 无线通信灌溉控制系统

无线通信灌溉控制系统包括控制中心、灌溉控

收稿日期: 2009-07-10 修回日期: 2009-07-27

^{*} “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2007BAD88B09)和北京市科技攻关项目(D0706007040191)

作者简介: 申长军,助理研究员,主要从事农业信息化技术研究,E-mail: shencj@nercita.org.cn

通讯作者: 郑文刚,副研究员,主要从事农业信息化技术研究,E-mail: zhengwg@nercita.org.cn

制基站和无线电磁阀,如图 1 所示。控制中心与控制基站之间可以使用无线电台、无线以太网等方式进行通信。系统运行时,灌溉控制基站接收到控制命令后,经过编码、调制后发射命令,无线电磁阀接收数据并校验后驱动电磁阀完成灌溉控制。在一些小型灌溉控制系统中没有控制中心,灌溉控制基站可嵌入发射控制模块的灌溉控制器。

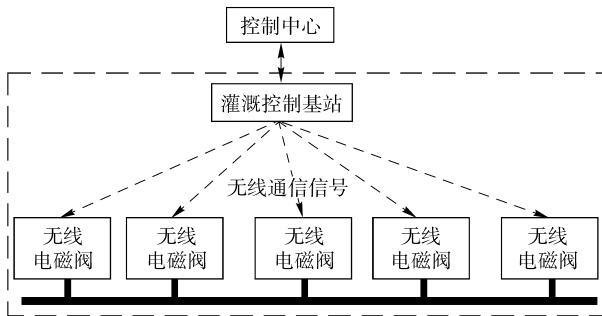


图 1 无线通信灌溉控制系统结构

Fig.1 Structure of wireless broadcasting irrigation control system

无线电磁阀工作在“休眠-检测-休眠”的循环状态,基站发送的射频信号包括用于唤醒电磁阀的引导码和控制数据。电磁阀定时检测引导码,当接收到同步数据后继续进行控制数据的接收,如图 2 所示。

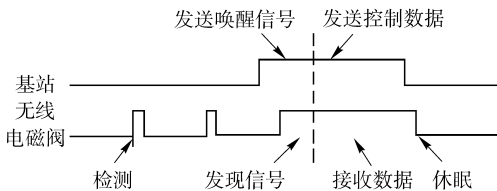


图 2 无线通信灌溉控制系统通信时序图

Fig.2 Communication sequence of wireless broadcast irrigation control system

系统采用 OOK(ON-OFF KEYED)调制方式和差分 4 值脉宽编码,该方法通过在每个码元中间产生跳变来避免编码中的直流成分,并可以作为同步和差错检测,具有较高的可靠性。其编码原理如图 3 所示。

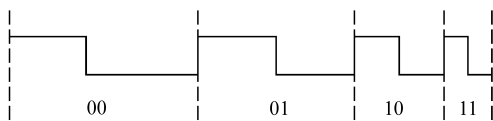


图 3 系统编码原理图

Fig.3 Schematic of system communication code

基站消息数据帧结构如表 1 所示。其中,引导码用于唤醒电磁阀,其发射时间大于系统设定的无线电磁阀检测间隔时间,从而保证电磁阀能接收到每一条控制命令。同步码用于同步接收机和发射机的起始位。标识号共 4 字节,是无线电磁阀的唯一

标识,其中标识号 0 为通信地址。数据字段为 5 字节,其中第 1 个字节为命令,其余 4 字节为数据。命令包括:① 0:打开阀门,此时后面 4 个字节为阀门打开时间长度,0 表示阀门一直打开。② 1:关闭阀门。③ 2:设置阀门定时检测时间,阀门检测引导码的时间间隔,0 表示阀门处于连续接收状态。

表 1 基站消息数据帧结构

Tab.1 Structure of base station message frame

引导码	同步码	长度	标识号	数据	CRC 校验
大于检测间隔时间	2 字节	1 字节	4 字节	5 字节	2 字节

2 无线直流电磁阀的设计

灌溉控制系统中,电磁阀为终端执行设备,控制灌溉的启停。为降低电磁阀功耗,采用直流闭锁电磁阀门,该类型阀门仅在启闭时需要 30 ms 的 9 V 的直流脉冲驱动,状态保持过程中无需供电。无线直流电磁阀由供电电池、电源电路、单片机、接收电路、驱动电路以及电磁阀头、阀体等组成,其结构如图 4 所示。

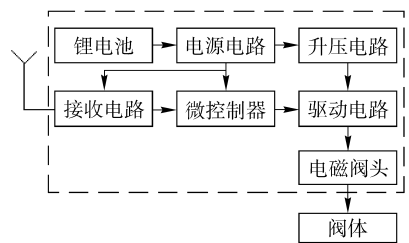


图 4 无线电磁阀结构框图

Fig.4 Structure of wireless solenoid valve

2.1 硬件设计

由于无线电磁阀工作在温湿度变化较大的环境中,且 OOK 通信易受到干扰,因此接收电路频率稳定性对无线电磁阀性能具有重要的影响。RX5000 是一款工作频率为 433.92 MHz 的放大器顺序混合型接收芯片。该芯片基于时分放大器序列混合结构,使用两级 SAW 滤波器,采用独特的数字解码技术,配备有自动功率控制模块,具有优良的带外信号抑止能力和有较高的灵敏度和稳定性^[9]。RX5000 具有较低的接收功耗,并具有休眠控制接口,在休眠状态下仅需要 1 μA 电流,非常适合低功耗 OOK/ASK 接收系统。C8051F930 是一款高速率、低功耗、小体积的高性能单片机,其休眠电流低至 0.6 μA,该芯片内置低功耗实时时钟,可以为设备提供定时唤醒单片机所需要的外部触发源,并具有高达 25MIPS 的处理能力,非常适合对功耗和体积有严格要求的无线电磁阀。

无线电磁阀使用标称电压为 3.6 V 的锂电池供

电,为满足电磁阀对驱动电压要求,采用升压电路进行升压,并使用电解电容进行电量存储。在休眠状态,升压电路处于关闭状态,当需要驱动阀门时,控制器首先打开升压电路,升压电路开始对电容进行充电,电容电压上升,当电压上升到设定电压后,充电停止,控制器关闭升压电路。此后,控制器打开阀

门驱动电路,发送驱动脉冲,从而完成阀门启停,直流闭锁电磁阀使用正反方向的脉冲进行控制,驱动时间在 30 ms 左右,驱动瞬间需要较大的驱动电流,系统采用 H 桥驱动芯片 L9110 产生正反脉冲,如图 5 所示。

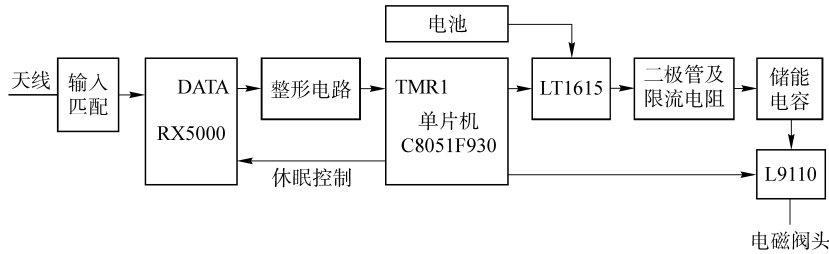


图 5 无线电磁阀电路原理

Fig. 5 Circuit schematic of wireless solenoid valve

2.2 软件设计

无线电磁阀运行过程包括 5 种工作状态:初始状态、休眠状态、接收检测状态、接收数据状态、处理数据状态,是典型的有限状态机系统。因此,软件采用基于有限状态机的思想设计^[10],其状态转换过程如图 6 所示。

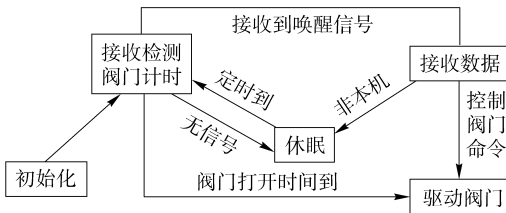


图 6 无线电磁阀软件状态转移图

Fig. 6 Software state of wireless solenoid valve

通电后系统进入初始化状态,此时单片机完成设备各个部分的初始化,然后系统进入接收检测状态。在该状态,单片机进行 10 ms 射频数据接收,以检测是否有唤醒信号;如果接收到唤醒信号,则系统进入接收数据状态;否则系统进入休眠状态。在接收数据状态,单片机接收所有数据,并判断命令的目标地址,如果是发给本机,则系统进入数据处理状态,否则进入休眠状态。在休眠状态,单片机由实时时钟的定时信号唤醒,重新进入检测数据状态。

射频信号的解码是软件设计的一个关键问题。如图 5 所示,接收电路产生的数据脉冲接入单片机的定时器 1 输入引脚,利用单片机的捕捉模块,捕捉该引脚两次上升沿的时间间隔,从而计算脉冲宽度,并根据脉冲宽度解码数据。虽然发射电路产生的脉冲长度为固定值,但是由于发射振荡电路的差异和传播过程中信号的干扰,解码中不能使用唯一的时间长度作为解码依据,因此,系统使用了一个可变长度的时间段作为 4 个码元解码依据,该措施提高了

接收电路的容错性和抗干扰性,具有很好的效果。

2.3 功耗分析

由于基站在发送控制命令时所有的阀门都将被唤醒进行接收,该接收时间在最坏条件下将大于阀门的休眠时间,因此电磁阀工作状态包括休眠、检测、接收和阀门驱动,故电磁阀的平均功耗计算公式为

$$I_{av} = \frac{I_{sp}T_{sp} + I_{ck}T_{ck}}{T_{sp} + T_{ck}} + \frac{N_{ca}N_{op}T_{sp}I_{ck} + N_{op}T_{op}I_{op}}{24 \times 3600} \quad (1)$$

式中 I_{sp} ——休眠状态下电流

I_{ck} ——接收状态下电流

T_{sp} ——休眠时间 T_{ck} ——检测时间

N_{ca} ——基站覆盖的电磁阀数量

N_{op} ——每个阀门每天平均操作次数

T_{op} ——阀门启闭时间

I_{op} ——阀门启闭电流

其中,休眠电流为 $2 \mu\text{A}$,接收电流为 5 mA ,接收检测时间为 10 ms ,阀门开关动作时脉冲为 30 ms ,电流为 20 mA 。假设每个阀门每天平均动作 4 次,忽略部分极小量后得出

$$I_{av} = 2.072 + \frac{50}{T_{sp}} + \frac{N_{ca}T_{sp}}{4} \quad (2)$$

因此,当

$$T_{sp} = \sqrt{\frac{200}{N_{ca}}} \quad (3)$$

时, I_{av} 有最小值

$$I_{av} = 2.072 + \sqrt{50N_{ca}} \quad (4)$$

因此,当基站内覆盖的电磁阀数量上升时,电磁阀的休眠时间就要减小才能保证每个电磁阀的平均

功耗最低,但同时每个电磁阀的平均功耗也在上升。所以,在电磁阀使用容量为 2 400 mA·h 的电池时,为了保证电磁阀可以工作 3 年,电磁阀可以接受的最大平均功耗为 91 μ A,因此,每个基站可以覆盖的电磁阀数量最大为 158,考虑到电池容量的损耗和其他损耗,实际可以容纳的电磁阀数量为 98 个。

3 射频发射控制模块的设计

射频发射控制模块接收控制器命令并将其调制为射频信号发送,为兼容更多的控制设备,本设计给出了一个具有两种接口的嵌入式射频发射模块。射频控制模块结构如图 7 所示。控制模块由接口电路、单片机、发射电路及功率放大电路组成。其中, TX5000 为与 RX5000 配套的射频发送芯片,支持 OOK 和 ASK 两种工作模式,其最大发射功率为 1 mW,OOK 发射速率为 10 kb/s,为增加控制模块的覆盖范围,模块增加了功率放大电路,用户可以根据需要设置发射模块的发射功率。功率放大电路使用 RF2155 芯片,该芯片为 3 V 供电的可编程功率放大器,最大功率可达 500 mW。RF2155 使用两个输入引脚设置模块的功率增益,具有 4 种增益模式,可以方便地调整控制模块的输出功率。

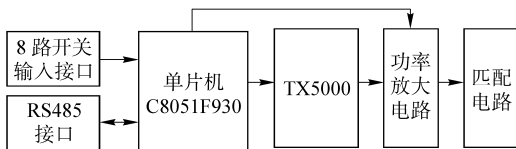


图 7 发射控制模块原理图

Fig. 7 Schematic of transmission control module

模块提供了开关量和 RS485 两种输入接口,可以与传统的灌溉控制器和计算机进行连接。工作过程中,控制模块检测输入接口状态,当接收到控制命令后(开关状态改变或 RS485 接口命令),单片机将命令编码为位流数据,并打开 TX5000 进行数据发送,射频信号经 TX5000 调制后经功率放大电路后由匹配电路将信号加载到天线上后发出。

开关量输入接口共 8 路,需要在使用前通过 RS485 接口设置 8 路开关量对应的无线电磁阀编号。RS485 接口为半双工通信方式,使用国际通用的 MODBUS RTU 通信协议,该协议通过对几种不同类型的寄存器的读写实现对设备的采集、控制和参数设置。控制模块的基本寄存器分布如表 2 所示。

通过 RS485 接口打开阀门时,可以采用向保持寄存器的打开电磁阀变量写入阀门编号和时间实现,也可以通过写入线圈状态寄存器实现。后者与直接控制模块的开关量输入接口一样,必须首先设

置 1~8 号电磁阀编号,也就是这种方式只能控制 8 个电磁阀。而通过前一种方式,可以直接控制任意编号的电磁阀,具有更大的灵活性。

表 2 控制模块变量分配表

Tab. 2 Variable used in control module

变量名称	变量类型	寄存器类型	偏移值
电磁阀编号 1~8	4 字节无符号数	保持寄存器	0~15: 8 个开关输入量分别对应的电磁阀编号
打开电磁阀	8 字节无符号数	保持寄存器	100~103: 电磁阀编号 104~107: 打开时间长度
关闭电磁阀	4 字节无符号数	保持寄存器	108~111: 关闭电磁阀的编号
线圈阀门 1~8	位	线圈状态	0~7 分别对应阀门 1~8

4 温室无线灌溉控制系统

温室集中自动灌溉控制系统是现代大型种植园区的重要控制系统,传统系统包括中央控制软件、温室控制器或 RTU 模块以及电磁阀。由于温室数量较多,采用这种方式的灌溉控制系统往往需要较高的施工费用,并且在出现通信故障时维护困难。使用无线通信的灌溉控制系统则可以解决这些问题。首先在温室内安装无线电磁阀,其后根据园区地形,布设若干个发射控制基站,发射基站通过无线电台与控制中心通信,结构如图 8 所示。

该园区共有温室 200 个,总面积约 26.7 hm^2 。系统将园区分为 2 个覆盖区域,安装 2 个控制基站,基站发射功率设置为 10 dBm,其有效覆盖面积为 13.3 hm^2 左右,每个控制基站覆盖 90 个电磁阀,每个电磁阀平均功耗接近 70 μ A,电磁阀内置的 2 400 mA·h 的电池可以工作 3 年,完全可以满足实际工程需求。控制基站使用控制模块的 RS485 接口通过无线电台与控制中心通信。

5 结论

(1) 无线电磁阀通过采用定时检测方法有效降低了功耗,可以使用内置电池连续工作 3 年,其射频控制模块可以与通用灌溉控制器和灌溉控制软件配合使用,并具有发射功率调整功能,可以广泛使用在不同区域的灌溉工程中。

(2) 广播基站在发送唤醒信号后将唤醒所有的覆盖区域内的电磁阀,这导致无线电磁阀实际运行过程中功耗增加,因此,需要进一步研究唤醒信号编码技术,以使电磁阀可以在接收唤醒信号时即可判断电磁阀编码信息,从而降低不必要的接收功耗。

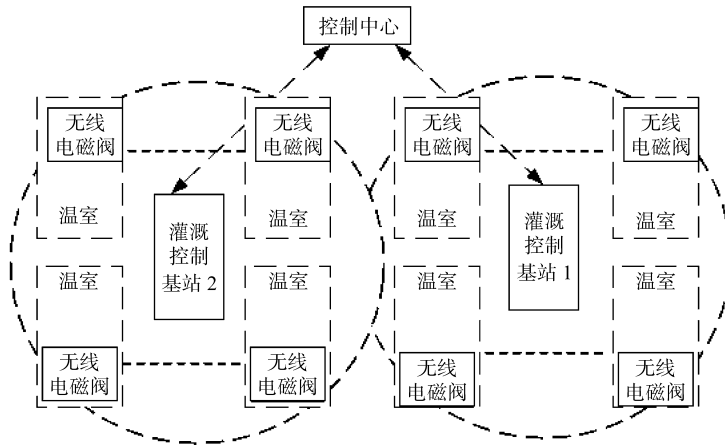


图8 温室无线通信控制系统

Fig.8 Wireless broadcasting control system of greenhouse

(3)无线电磁阀的灌溉控制系统施工简单、维护方便、成本低廉,具有较好的应用前景。

参 考 文 献

- 张兵,袁寿其,成立. 节水灌溉自动化技术的发展及趋势[J]. 排灌机械, 2002,21(2):37~41.
Zhang Bing, Yuan Shouqi, Cheng Li. Present situation and prospect of automatic control technology in water saving irrigation at home and abroad[J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2002, 21(2):37~41. (in Chinese)
- 汤万龙,曲强,杨金芝. 基于解码器的自动灌溉控制系统的原理及构造[J]. 节水灌溉, 2006,5(5):35~36.
Tang Wanlong, Qu Qiang, Yang Jinzhi. The theory and structure of automatic irrigation control system based on decoder [J]. Water-saving Irrigation, 2006, 5(5):35~36. (in Chinese)
- 王学峰. POCSAG 编码技术在农田灌溉中的应用[J]. 农机化研究, 2008,30(12):173~175.
Wang Xuefeng. Design and research on field irrigation based on POCSAG coding technology[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008, 30(12):173~175. (in Chinese)
- 曹成茂,夏萍,朱张青. 无线数据传输在节水灌溉自动控制中的应用[J]. 农业工程学报, 2005, 21(4):127~130.
Cao Chengmao, Xia Ping, Zhu Zhangqing. Application of wireless data transmission to the automatic control of water saving irrigation[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(4):127~130. (in Chinese)
- 高胜国,黄修桥,齐学斌. 基于经济组网方式的灌溉远程自动控制系统[J]. 农业机械学报, 2005,36(2):79~81.
Gao Shengguo, Huang Xiuqiao, Qi Xuebin. Automatic control system of long distance based on low cost network [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(2):79~81. (in Chinese)
- Yunseop Kim, Evans R G, Iversen W M. Remote sensing and control of an irrigation system using a distributed wireless sensor network[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2008, 57(7):1 379~1 387.
- 冯友兵,张荣标,沈敏. 面向精确灌溉的无线传感器网络构建[J]. 农业机械学报, 2009,40(1):56~59.
Feng Youbing, Zhang Rongbiao, Shen Min. Construction of wireless sensor networks for precision irrigation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(1):56~59. (in Chinese)
- 王骥,沈玉立,周文静. 基于无线传感器网络的智能灌溉系统研究[J]. 现代电子技术, 2008,15(15):94~97.
Wang Ji, Shen Yuli, Zhou Wenjing. Research for intelligent irrigation system based on wireless sensor network[J]. Modern Electronics Technique, 2008, 15(15):94~97. (in Chinese)
- 霍迎辉,张学习. 基于 RX5000/TX5000 的无线收发电路[J]. 国外电子元器件, 2004,2(2):37~39.
Huo Yinghui, Zhang Xuexi. Receiver and transmitter based on RX5000 and TX5000[J]. International Electronic Elements, 2004, 2(2):37~39. (in Chinese)
- 徐小良,汪乐宇,周泓. 有限状态机的一种实现框架[J]. 工程设计学报, 2003,10(5):251~255.
Xu Xiaoliang, Wang Leyu, Zhou Hong. Implementation frame work of finite state machines[J]. Journal of Engineering Design, 2003, 10(5):251~255. (in Chinese)