

# 智能灌溉系统的无线传感器网络设计

## Design of the Wireless Sensor Network for Smart Irrigation System

邓 响 程小辉

(桂林理工大学信息科学与工程学院,广西 桂林 541004)

**摘 要:** 针对农业灌溉中的水资源浪费问题,设计了用于农业智能灌溉的无线传感器网络系统。该系统采用 PEGASIS 协议中的分群路由思想将整个网络细化为多个子网路。各网络由子节点、汇聚节点和主节点构成,节点间通信采用时分多址(TDMA)通信协议,使用功耗等级划分方式进行联网和组网。节点设计引入了单片机 AT89S52、RF 芯片 CC1101 等硬件平台。系统实现了数据采集、传感器组网、数据无线传输、网络数据管理和监控等功能,实测结果验证了该设计的可行性和有效性,它能为智能精准灌溉提供平台。

**关键词:** 智能灌溉系统 无线传感器网络 时分多址(TDMA) 通信协议 数据采集

**中图分类号:** TN915+.3;TN915+.9 **文献标志码:** A

**Abstract:** Aiming at the wasting water resources problem in agricultural irrigation, the wireless sensor network system used for smart agriculture irrigation has been designed. In this system, the entire network is refined into multiple sub-networks by using the idea of clustering routing in PEGASIS protocol, each network is composed of child nodes, aggregation nodes and master node, communication among nodes use TDMA protocol, the interconnection and networking are based on classification of the power consumption level. The node design introduces single chip machine AT89S52, and RF chip CC1101 hardware platforms. The system implements various functions including data acquisition, sensor networking, wireless data transmission, network data management and monitoring, etc. The results of practical test verify the feasibility and effectiveness of the design, and indicate that it provides the platform for intelligent and precise irrigation.

**Keywords:** Smart irrigation systems Wireless sensor network Time division multiple access (TDMA) Communication protocol Data acquisition

### 0 引言

21 世纪,水已成为一种稀缺资源,水资源问题已不仅仅是简单的资源问题,更是关系到国家经济、社会可持续发展和长治久安的重大战略问题。目前,国内用于农业灌溉的水资源浪费非常严重。因此,在农业灌溉中引入无线传感器网络(WSN)技术,实时监测农作物生长的土壤墒情和外部环境。通过监测数据指导农业生产,结合智能灌溉技术实现定时、定量的精准灌溉,可以大幅度节省农业生产中生产资料的消耗,提高水资源利用率,缓解水资源紧张问题。

本文介绍了智能灌溉系统的无线传感器网络设计方案。该方案利用节点网络的各种传感器实时监测农作物生长的土壤墒情和外部环境;通过无线通信网络将监测到的有效信息传送到系统管理中心;系统管理中心根据监测数据,采用相应的灌溉措施实现大面积

精准灌溉。该设计方案实现了数据采集、传感器组网、数据无线传输、网络数据管理和监控等功能。

### 1 系统架构及硬件设计

系统的架构如图 1 所示。

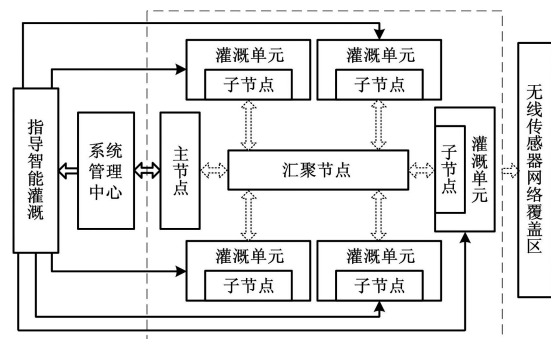


图 1 系统架构图

Fig. 1 Architecture of the system

系统按功能分为系统管理中心和无线传感器网络覆盖区两大部分。系统管理中心负责对接收的数据进行灌溉单元划分、分类、聚合和存储,确保各个灌溉区的汇聚节点和数据采集子节点所在地的数据可以随时查阅,确定有效的灌溉方式。

国家自然科学基金资助项目(编号:61063001/F020207);

广西自然科学基金资助项目(编号:桂科自 0832264)。

修改稿收到日期:2012-03-31。

第一作者邓响(1980-),男,2009年毕业于桂林理工大学计算机应用专业,获硕士学位,讲师;主要从事嵌入式技术、物联网技术的研究。

无线传感器网络覆盖区由网络主节点和分割为模块的相对独立的灌溉单元组成。每个灌溉单元设有一个或多个网络汇聚节点(相当于传输基站)和数目不等的传感器数据采集子节点。子节点通过与其连接的各种传感器(空气温湿度、光照强度、土壤温湿度、二氧化碳含量传感器)采集监测数据。

无线传感器网络通信方式采用主从模式,对每个网络节点进行统一编址,保证其地址的唯一性。结合分群路由协议中的 PEGASIS 协议,将整个网络划分为多层,每层分为多个子网络。子网络采用时分多址(TDMA)通信技术,使地址与节点相对应,时间间隙与节点通信相连接。

系统子节点由供电模块、无线通信模块、微控制器模块和传感器模块组成,其结构如图2所示。

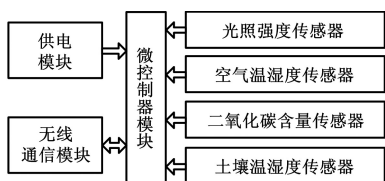


图2 系统子节点结构图

Fig.2 Structure of the system child node

子节点通过传感器模块和微控制器模块实现对土壤温湿度、空气温湿度、光照强度和二氧化碳浓度等信号的采集和处理,并把处理过后的标准数据通过无线通信模块发送给汇聚节点。微控制器模块选用的MCU是ATMEL公司生产的CMOS 8位单片机AT89S52,包括微控制器最小系统单元、实时时钟单元和外部数据存储单元。

无线通信选用基于RFCC1101的无线通信模块。该模块从结构上分为两部分:RF射频电路和微控制器电路。其设计结构如图3所示。

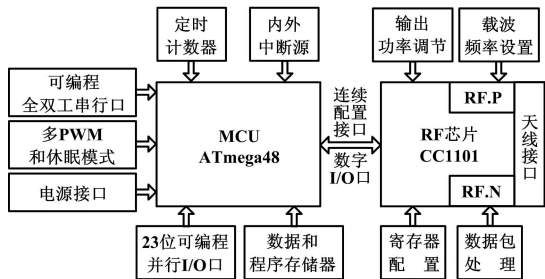


图3 无线通信模块设计结构图

Fig.3 Design structure of the wireless communication module

汇聚节点由供电模块、无线通信模块以及微控制器模块构成,功能为:①收集所属网络子群的子节点传感器采集的数据;②中转所属网络收集的数据,并发送

给主节点或下一级汇聚节点;路由由外群的采集数据,此时相当于一个特殊的路由设备。无线传感器网络的中转路由级数可以根据具体情况设定,所设计的无线通信模块能提供256个通信信道,则两极中转路由就能支持255×255共65 025个子节点,基本上可以满足无线传感器网络系统节点的需求。

主节点由微控制器模块、供电模块、无线通信模块与通信接口模块构成。其中,通信接口模块包括USB接口与串行接口,供电模块采用系统管理中心的上位机USB接口供电。主节点负责收集所有汇聚节点的数据包,并通过串口或USB接口把数据传递给系统管理中心<sup>[1-2]</sup>。系统主节点结构如图4所示。

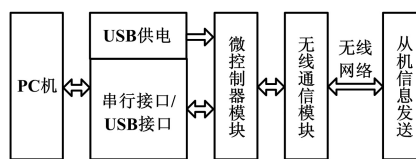


图4 系统主节点结构图

Fig.4 Structure of the system master node

## 2 系统软件设计

无线传感器网络软件程序总体设计结构如图5所示,主要包括子节点程序设计、汇聚节点程序设计、主节点程序设计三大部分。

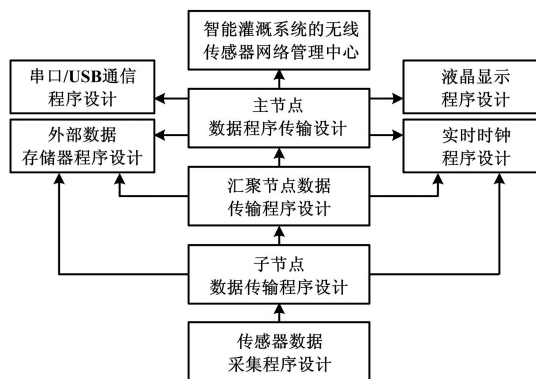


图5 程序总体设计结构图

Fig.5 Overall design structure of the program

### 2.1 子节点程序设计

子节点主要完成对监控目标周边环境数据的采集,并与汇聚节点建立通信发送采集数据。系统通过定义3个事件即无线通信事件、数据采集事件和休眠事件来完成以上任务。无线通信事件,与汇聚节点联网通信,传递传感器采集数据与节点的路由信息;采集事件,完成各节点传感器的数据采集、预处理,并通过I<sup>2</sup>C总线存储到外部存储器24C02中;休眠事件,使子节点进入休眠状态,子节点程序流程图如图6所示。

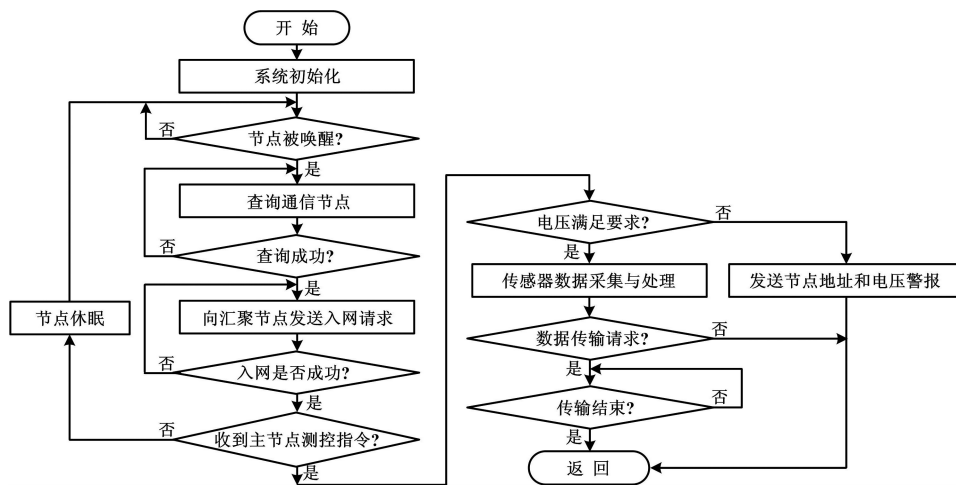


图6 子节点程序流程图

Fig. 6 Flowchart of the child node program

系统一共有4路传感器采集信号,分别采集空气温湿度、土壤温湿度、光照强度和二氧化碳浓度。

数据采集程序设计把空气温湿度传感器定义为传感器1、土壤温湿度传感器定义为传感器2、光照强度传感器定义为传感器3、二氧化碳浓度传感器定义为传感器4。因此,系统定义了一个传感器启动控制字节,以其中的4位作为4路传感器的启动标志位,由4路低功耗的TQ2-4.5继电器控制导通,分别接单片机的

P<sub>2.0</sub> ~ P<sub>2.3</sub>口。

传感器启动控制字节格式定义如表1所示。

表1 控制字节格式定义

Tab. 1 Definition of control byte format

位4~7	位3	位2	位1	位0
保留	传感器4	传感器3	传感器2	传感器1

子节点数据采集程序设计流程图如图7所示。

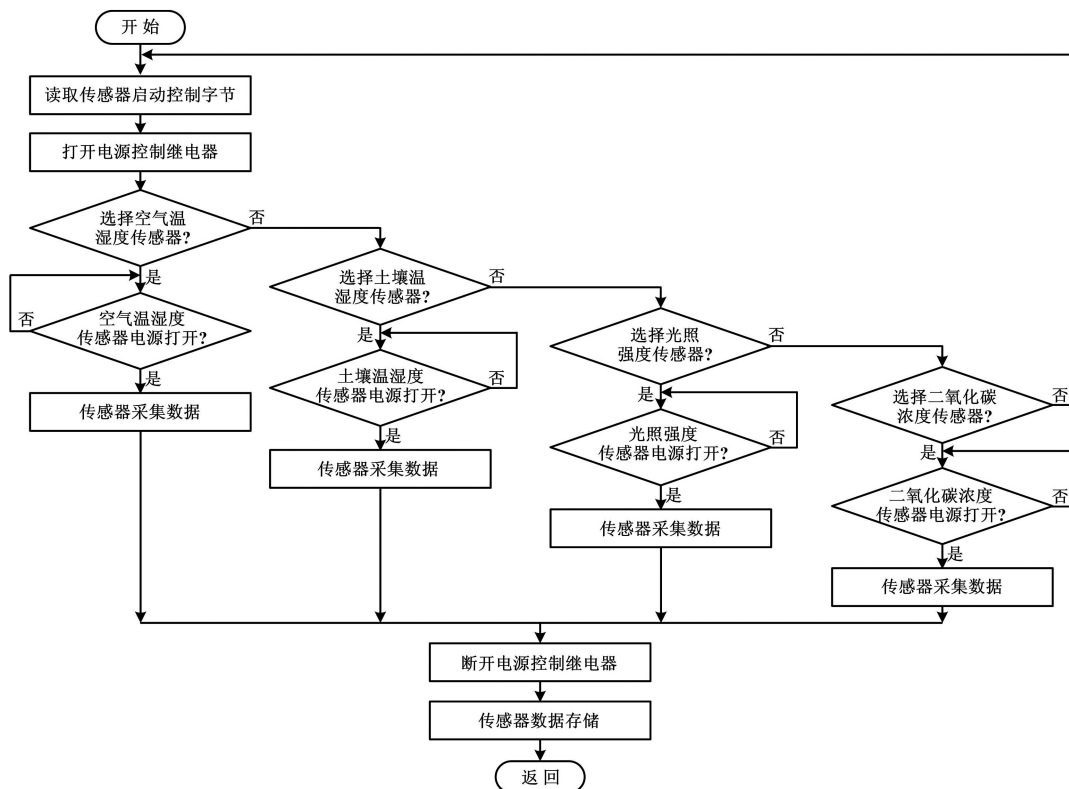


图7 数据采集程序设计流程图

Fig. 7 Design flowchart of the data acquisition program

在写入存储器之前,将数据以一定的数据格式进行封装,便于系统管理中心的综合管理。定义采集数据的存储和传输格式如表 2 所示。存储内容包括节点地址、采集时间和传感器采集数据。采集数据格式定义如表 3 所示。

表 2 数据存储和传输格式

Tab.2 Storage and transmission formats for data

节点 ID	时间 (时:分)	空气温湿 度传感器	土壤温湿 度传感器	光照强度 传感器	二氧化碳 浓度传感器
1 B	1 B	2 B	2 B	2 B	2 B

表 3 采集数据格式定义

Tab.3 Definition of collected data format

位 15~14	位 13~10	位 9~0
传感器类型	扩展保留	传感器采集数据

### 2.2 汇聚节点程序设计

汇聚节点功能为:与所属网络下的子节点建立通信并收集所有子节点的传感器采集数据;把收集到的子节点数据发送给主节点;路由网络群外的数据采集。据此可以在节点应用层定义一个用户任务,在任务中定义两个事件,分别是无线通信事件与休眠事件。无线通信事件,接收和发送数据;休眠事件,如果主节点没有采集任务,汇聚节点与子节点都将处于休眠状态。

汇聚节点与子节点采用点对多时分多址的通信方式,子节点的采集数据以单个数据段的形式发送到汇聚节点。

汇聚节点是通信子网络的群首,采用 TDMA 通信技术,分时与下属子节点通信,并把收集数据分层(分级)路由传递给主节点。具体的 TDMA 时间间隙由无线通信的波特率与数据传输量决定。

本系统无线通信波特率设置为 19 200 bit/s,数据传输量包括 4 个传感器采集数据,数据量少于 100 B,点名应答时间测试为 10 ms,数据传输时间测试为 40 ms,测试结果建立在所有子节点同构的基础之上。此外,使用的传感器类型和数目必须一致,否则 TDMA 的时间间隙要根据不同的节点进行具体划分<sup>[3]</sup>。

汇聚节点接收到采集节点的数据后要以一定的格式存储,以便主节点接收和管理。数据存储格式为:汇聚节点 ID + 时间(时:分) + 收集子节点的数目 + 收集子节点采集数据。当汇聚节点向某一采集子节点发送请求信号时,采集子节点应向汇聚节点发送一个应答信号,子节点对汇聚节点发送请求时也如此。

汇聚节点通信程序设计流程如图 8 所示。

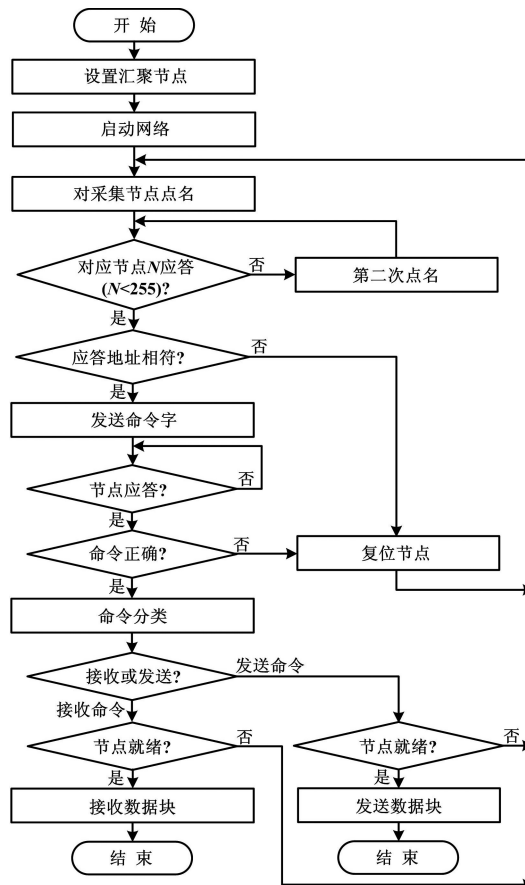


图 8 汇聚节点通信程序设计流程图

Fig. 8 Design flowchart of the aggregation node communication program

### 2.3 主节点程序设计

主节点从功能上说其实是一个最大的汇聚节点,它大部分通信程序设计与汇聚节点的通信程序设计一致,在本系统中主要多了串口/USB 通信程序和液晶显示程序。串口/USB 通信把主节点的存储数据传输给系统管理中心上位机上,液晶为传感器数据提供可视化显示。主节点的工作模式分两种:一种是上位机发送指令,命令采集数据;另一种是主节点自己内部操作,可通过按键启动采集程序。在没有打开系统上位机的情况下,可以通过第二种模式查看目标监测数据。

### 2.4 节点网络通信的低功耗设计

在无线通信模块中,由于 RF 芯片 CC1101 内部集成的功率放大器可以通过编程控制,因此子节点、汇聚节点与主节点在联网时可以遵循一定的通信原则。功率放大器由一个 8 位寄存器控制,从最小的 0000000H 到最大的 1111111H,一共可以分为 256 个等级,等级越大,无线通信模块发射功率越大,通信距离也就越远,反之亦然。系统一共设了 8 个等级,具体等级分配如表 4 所示<sup>[4-5]</sup>。

(下转第 88 页)