

基于无线传感器网络的精准农业环境 监测系统设计

Design of Precision Agriculture Environment Monitoring System Based on Wireless Sensor Network

吕立新^{1,2} 汪 伟² 卜天然² (1.安徽大学 计算机科学与技术学院 安徽 合肥 230039;
2.安徽商贸职业技术学院 电子信息工程系 安徽 芜湖 241000)

摘 要: 在充分研究现有农业环境监测系统的基础上,将基于 ZigBee 的无线传感器网络技术应用于精准农业环境监测领域,给出了农业环境监测系统的组网方案,重点设计了基于 MSP4300 和 CC2420 芯片的传感器节点硬件结构和软件流程,系统可以对目标监测区内的温度、湿度、光照度等农业环境信息进行快速、可靠的远程采集和传输。解决了传统农业环境监测信息存储的有限性和移动测量的不便性等问题,为精准农业环境监测提供了一种有效的解决方案。

关键词: 无线传感器网络 精准农业 ZigBee 环境监测

1 引言

精准农业(Precision Agriculture)的基本涵义是根据作物生长的环境状况,调节对作物的投入,以最少的或最节省的投入达到同等收入或更高的收入,并改善环境^[1]。准确实时的信息供给是精准农业的必须前提。精准农业的实现首先在于认识农田内农作物生长环境和生长情况的差异,而这必须依赖于各种先进的传感器,如大气温度、大气湿度、风速、太阳辐射、作物生长情况、作物产量等各种类型传感器。如何将这些传感器采集的信息及时准确地收集,为农业专家提供决策并制定农田变量作业处方的主要数据源和参数,一直是一个难题。近年来,出现了许多采用无线公共网络和无线网络等无线通讯方式进行农、林、牧业的远程监测的研究^[2]。这些无线通信技术的优势是传输速度快、信息量大、可远距离传输,但都存在功耗高、时延长、通信费用高等因素制约,使其很难广泛地应用到农业环境监测中。

无线传感器网络是由大量传感器节点通过无线通信技术自组织构成的网络,传感器节点具有数据采集

处理,无线通信和自动组网的能力,协作完成大型或复杂的监测任务。无线传感器网络有监测精度高、低功耗、低成本、实时性好、高容量、覆盖区域大等显著优点,非常适合于农业环境监控系统的实现。本文在对现有农业环境监测系统和无线传感器网络充分研究的基础上,应用 ZigBee 技术设计了一种基于的无线传感器网络的农业环境监测系统,系统可以对目标监测区内的温度、湿度、光照度,CO₂ 浓度等农业环境信息进行快速、可靠的远程采集和传输。

2 系统总体设计

2.1 系统体系结构

基于无线传感器网络的农业环境监测系统由无线传感器节点、无线网关和监测中心服务器三部分组成。ZigBee 明确定义了星形、簇状和网状 3 种拓扑结构^[3]。为减小能量损耗和数据包丢失,本文采用簇状网络拓扑结构和层次路由协议。具体做法是将监测目标区域中的所有传感器节点分为若干个簇,每个簇相当于一块较为固定的自组织网络。簇的范围由网络覆盖面

积的实际情况决定。根据传感器节点在网络中扮演的角色不同，又将它们分为底层普通节点、簇首以及网络协调器 3 种类型。其中底层普通节点将采集到的数据跳传至本簇的簇首，簇首主要完成数据融合和转寄数据包，可以将其所辖簇的底层普通节点采集的数据融合处理并发送给就近的网络协调器，同时还可以将网络协调器发送给其的数据包向其所辖的簇广播。簇首应位于所划分的簇的较为中心的位置，使得每个节点和它的传输距离大致相同，各个节点的功耗分布较为均匀，从而避免某些节点由于传输距离较远而造成能量的过多消耗。网络协调器主要负责建网以及设备注册和访问控制等基本的网络管理功能。系统的体系结构如图 1 所示。

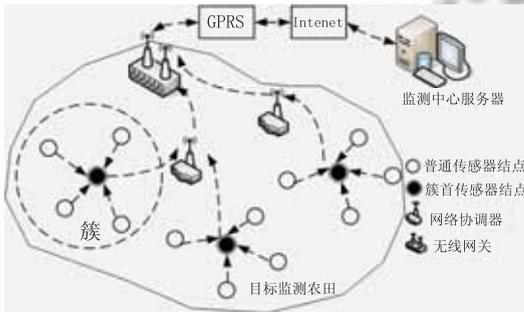


图 1 农业环境监测系统体系结构图

2.2 系统工作过程

系统工作时首先由监测中心服务器发出对农田环境各项指标进行查询的请求命令，通过 Internet 和 GPRS 网络传到网关节点。网关节点根据请求命令的具体要求，选择对应的网络协调器，接着网络协调器根据命令选择所要查询的簇，当簇首节点收到控制命令以后，唤醒并激活本簇内的所有节点，进行数据采集和通信。节点及时采集数据，经过数模转换后发送给本簇的簇首节点，簇首节点对传来的数据进行融合，然后将融合后的数据发回到网关节点，继而通过外部网络传给监测中心服务器。监测中心对数据进行处理、分析，并存入环境信息数据库，为以后的分析决策提供数据资源。

3 硬件系统设计

3.1 传感器节点硬件设计

传感器节点是组成无线传感器网络的基本单位，

是构成无线传感器网络的基础平台。本文中的传感器节点是由传感器模块、主处理模块、无线通讯模块和电源四部分组成。传感器模块负责采集温度、湿度、光照度等参数和数据的模数转换。主处理器模块负责控制整个传感器节点的操作，存储和处理从它自身采集来的数据以及其他节点发送来的二进制信息，无线通讯模块负责与其他的节点进行通讯，交换控制信息和收发数据。电源部分主要给传感器模块、处理模块、无线通讯模块供电。其硬件结构如图 2 所示。

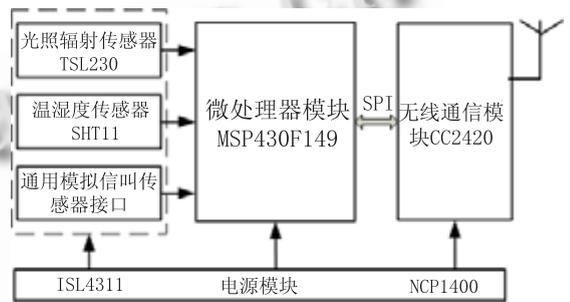


图 2 传感器节点硬件结构图

3.1.1 微处理器模块

由于传感器节点使用电池供电而且必须长期在野外工作，所以在选择微处理器时低功耗是一个非常重要的技术指标。MSP430F149 是 TI 公司的一款超低功耗混合信号控制器，能够在低电压下以多种低功耗模式工作，具有强大的处理能力和丰富的片内外设同时支持 C 语言编程^[4]。MSP430 最显著的特点就是它的超低功耗，在 1.8V~3.6V 电压、1MHz 的时钟条件下运行，耗电在 0.1 μA~400 μA 之间，RAM 在节电模式耗电 0.1u。这些特点使得其非常适合于无线传感网络节点的设计。

3.1.2 无线通信模块

无线通信模块中，选用了 Chipcon 公司的 CC2420 射频收发器，它符合 IEEE802.15.4 标准，能实现 ZigBee 协议的物理层(PHY)及媒体访问控制器(MAC)层，同时具有低耗电、250kbps 传输速率、快速唤醒时间(< 30nm)、CSMA-CA 通道状态侦测等特性。其外围电路包括晶振时钟电路、射频输入输出匹配电路以及微控制器接口电路，和微处理器之间使用 4 线 SPI 连接。

3.1.3 传感器模块

温度、湿度的测量采用瑞士 Sensirion 公司推出

的新一代基于 CMOSens™ 技术的数字式温、湿度露点传感器 SHT11, 可实现数字式输出、免调试、免标定、免外围电路及全互换功能。SHT11 的产品互换性好, 响应速度快, 抗干扰能力强, 不需要外部元件, 适配各种单片机^[5]。

在测量太阳光辐照度部分, 选用 TI 的 TSL 230B 芯片。它主要由多晶硅光电二极管和单片 CMOS 电流频率集成转换器构成。芯片把一定的光谱的光转换成电流, 再由电流/频率转换器转换成相应的脉冲频率。输出方波或者三角波的频率完全由光照幅度决定, 分辨率极高, 可以直接与微控制器连接。

为了使系统具有很好的扩展性、灵活性, 系统在设计时增加了通用模拟, 数字接口, 可扩展其他传感器对 CO₂ 浓度、土壤的 PH 值、EC 值和作物的生理参数进行测量。模拟接口能够处理 0~5V、1~10V、0~10mA、4~20mA 标准模拟信号, 模拟信号经过低通巴特沃思型滤波器及低功耗运算放大器 LMV324 实现阻抗匹配进入单片机的 12 位 A/D 转换, 提高系统的测量精度。

3.1.4 电源模块设计

传感器节点采用两节 5 号电池供电, 能耗是无线传感器最重要的资源, 电池能够提供 2.2Ah 的能量, 经过升压 DC/DC 芯片 NCP1402 转换到 3.3V 和 5V, 电池使用效率可达 85%。根据需要切换高低频率、单片机的低功耗模式、可改变工作电压, 同时采用模拟开关 ISL43111 来控制各个传感器的供电, 在不需采集数据时关断电源以进一步降低功耗。簇首节点因为需要较远的距离传输到无线网关, 因此就会比普通的节点耗能大, 所以在电源设计方面携带了更大功率的锂电池。

3.2 无线网关的硬件设计

在该系统中无线网关是无线传感器网络与监测中心服务器的中转站, 负责发送命令、接收下层节点的请求与数据, 承担着无线传感器网络中各节点与监测中心的数据交换任务。网关的硬件体系结构如图 3 所示, 主要包括主处理器、扩展存储器单元、射频收发模块和 GPRS 通信模块, 另外配有以太网接口以及扩展接口等。

考虑到网关控制功能多、数据流量大, 需要处理能力强的微处理器, 本设计采用 Intel 公司推出的基

于 Intel Xscale 内核技术的新一代嵌入式微处理器芯片 PXA270 处理器。该处理器兼容 ARM 体系结构 V5TE, 最高运行频率为 624MHz^[6]。通过 PXA270 处理器的存储器总线接口外扩了 64MB 的 NANDFLASH 以及 64MB 的 SDRAM 存储芯片。射频收发模块还是采用 CC2420, 通过它与传感器网络节点实现双向通信, 接收传感器节点发送过来的数据信息, 向节点发送控制命令等。GPRS 模块采用了 Sony- Ericsson 公司的通信模块 GM47。GM47 内嵌了 TCP/IP 协议栈, 带有 GSM/GPRS 全套语音和数据功能。GPRS 模块作为网关与互联网相连接的接口, 负责将数据发到互联网上以及接受互联网的控制信息等。

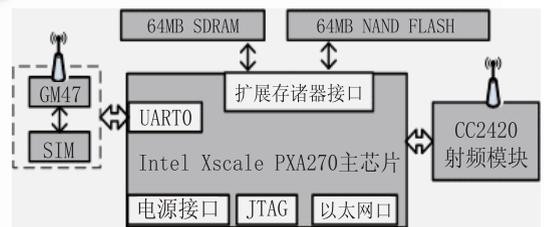


图 3 无线网关硬件结构图

4 系统软件设计

系统的软件设计工作主要包括 ZigBee 协议栈的实现和传感器节点的程序设计, 在 ZigBee 簇状网络中, 协调器和传感器节点在网络中的功能、地位不同, 因而普通传感器节点与网络协调器节点的软件设计又有所不同。在本设计中, 使用 C 语言编写实现了 ZigBee 协议栈, 同时使用处理器自带的程序存储器来存储可配置的 MAC 地址、网络表和绑定表。根据 ZigBee 规范的定义将协议栈在逻辑分为多个层, 实现每个层的代码位于一个独立的源文件中, 而服务和应用程序接口(API)则在头文件中定义^[7]。

4.1 传感器节点的程序设计

传感器节点主要负责采集传感器数据并将这些数据传送给网络协调器, 同时接收来自协调器的数据并根据这些数据进行相关操作。传感器点上电后首先对 MCU 初始化, 然后加载 SPI 驱动来初始化无线通信模块 CC2420, 初始化成功后扫描所有可用信道来寻找临近的网络协调器, 并申请加入此网络。由于传感器节点采用电池供电方式, 必须要保证终端节点的低功耗, 因此在设计中采用被动唤醒的方式连接协调器接

收或发送数据。其它时间则转入低功耗模式，节点功耗降到最低。传感器节点的软件流程图如图 4 所示。

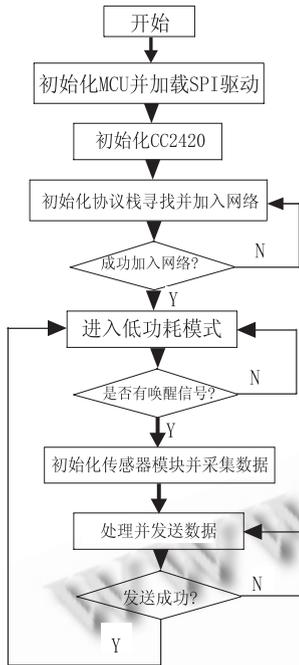


图 4 传感器节点软件流程图

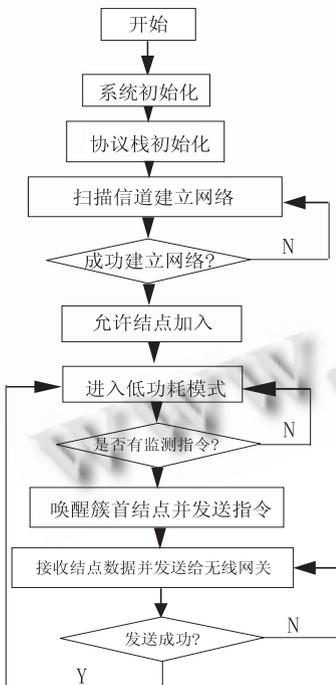


图 5 网络协调器软件流程图

4.2 网络协调器的程序设计

作为网络中的协调器，要承担网络创建和管理和

数据传输二个重要功能。网络创建与管理功能主要是负责组建 ZigBee 网络，分配网络地址及维护绑定表。网络协调器通过扫描一个空信道来创建一个新网络，维护一个目前连接设备的列表，支持独立扫描程序来确保以前的连接设备能够重新加入网络。数据传输功能主要是充当传感器节点的数据传送给无线网关，或将监测中心的监测指令发送给传感器节点。网络协调器的软件流程图如图 5 所示。

5 系统实现与监测实验

5.1 系统软件实现方案

传感器节点和网络协调器的软件使用 C 语言在 MSP430 系列单片机配套的开发环境 IAREmbedded Workbench 开发，利用单片机本身的 JTAG 接口，通过 TI 公司所带的仿真器 FET 可以方便的进行程序调试和代码下载。无线网关使用 Linux 作为嵌入式操作系统，使用 C 语言开发了 ZigBee 协议栈和网关应用程序。

监测中心数据管理软件使用 C++ 语言在 Microsoft Visual Studio 2005 环境下开发，采用数据库操作方式实现节点数据存储和读取。监测中心数据管理软件主要实现数据的接收、存储和分析，根据功能需求，划分成如下模块：

数据接收模块。网关节点与数据监测中心之间通过 GPRS 网络通信，基于 Socket 编程技术，监听本地 IP 地址的绑定端口，在确认客户端即网关节点的连接请求后，接收数据，并根据自定义数据包协议完成数据解析。

数据库存储模块。根据数据的采集时间，采用时段划分的数据存储管理方式，将解析数据存储到数据库对应表格的对应属性字段中。

监测量时间变化分析模块。从数据库表中读取监测量数据，以时间为横轴，绘制监测量随时间变化的曲线，分析监测量连续变化的特性。

5.2 系统监测实验

为了验证系统的各方面性能，于 2008 年 9 月 5 日在芜湖某花卉生产基地进行了实地监测实验。在实验场地内布置了 4 传感器节点和一个网关节点，场地的植株高度约为 60cm，节点天线高度为 120cm，节点间的距离约为 40 米，实验数据的采集结果如图 6 所示。

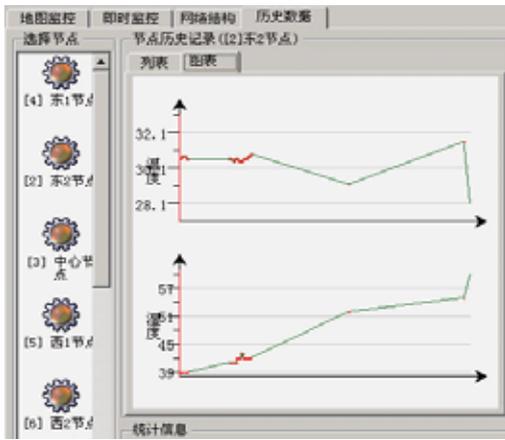


图 6 环境数据实时监测分析界面

为了测试系统的性能，在实验过程中人为地对传感器进行了加热、加湿、遮挡等干扰，从实验结果上看这些干扰都很及时地在监测结果中有所反映。在实验中节点天线的高度是影响信号传输的重要因素，另外随着作物的生长，农田环境动态变化，植被覆盖也是重要的影响因素。因此在实际应用中要针对农田具体覆盖作物，设计适宜的节点天线放置高度，从而减少信号传输的路径损耗。同时在节点放置时要保证终端传感器节点在有效通信范围内至少能够与两个以上的作为路由器的传感器节点通信，以保证一条链路出现故障时不会影响到整个网络。

6 结束语

无线传感器网络在环境监测、生态监控等领域应用日益广泛，尤其是在艰苦或恶劣环境条件下，具有

传统监测技术不可比拟的优势^[8]。本设计将基于 ZigBee 的无线传感器网络技术应用于精准农业环境测控，利用无线传感器网络对农作物现场信息进行采集，设计了簇状的无线传感器监测网络组网方案，完成了传感器节点硬件设计和软件设计。这种无线测控的方式相对于传统农业来说，其优点在于网络组建简单，一次性构建成本低，扩展性强，灵活性大，能有效地改善现有的农业生产管理模式，并极大地提高农业生产效力。

参考文献

- 1 刘爱民,封志明,徐丽明.现代精准农业及我国精准农业的发展方向.中国农业大学学报,2000,(2):24 - 29.
- 2 孟未来,杨大全,周建英.ZigBee 网络在我国精准农业上的应用展望.辽宁农业科学,2007,(3):67 - 68.
- 3 包长春,石瑞珍,马玉泉.基于 ZigBee 技术的农业设施测控系统的设计.农业工程学报,2007,23(8):160 - 164.
- 4 胡大可.MSP430 系列 Flash 型超低功耗 16 位单片机.北京:北京航空航天大学出版社,2000.
- 5 孟臣,李敏.SHT11 数字式温湿度传感器原理与应用.世界电子元器件,2003,(8):66 - 68.
- 6 崔莉,鞠海玲,苗勇.无线传感器网络研究进展.计算机研究与发展,2005,42(1):163 - 174.
- 7 徐伟,秦会斌.基于 ZigBee 的森林火险信息采集系统的设计.杭州电子科技大学学报,2007,27(5):63 - 67.
- 8 张军国,李文彬,韩宁.基于 Zigbee 无线传感器网络的森林火灾监测系统的研究.北京林业大学学报,2007,29(4):41 - 45.