

现代智慧农业设施大棚环境监测系统设计

张 玮

(石家庄学院 机电学院, 石家庄 050035)

摘要:在我国,现代智慧农业设施大棚得到了大面积的推广使用;棚内环境是否适宜对作物的生长发育至关重要,直接决定了能否实现丰产丰收,为了确保作物在大棚中能处于最合适的生长环境,必须对棚内的环境参数进行精确的监测;针对当前所存在的棚内环境监测系统成本较高,布线复杂等问题,提出了一种基于近距离无线组网通信技术的棚内环境监测系统设计方案;该方案选用SHT21、TSL2561、CCS811对棚内的温湿度、光强度以及二氧化碳气体浓度等环境参数进行检测,应用CC2530微处理器,对传感器检测的环境参数进行实时采集,通过ZigBee模块将数据进行无线传输上传实现主机PC监测;系统在实际测试中温度误差不超出 $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,湿度误差不超出 $\pm 2\%\text{RH}$,在使用距离范围内的网络数据丢包率不超过2%,系统运行稳定,可靠性强,可以满足设计要求。

关键词:设施大棚;传感器;ZigBee;CC2530;环境监测

Design of Environmental Monitoring System for Greenhouse in Modern Intelligent Agricultural Facilities

Zhang Wei

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Shijiazhuang University, Shijiazhuang 050035, China)

Abstract: In China's modern intelligent agricultural facilities greenhouse has been widely used. Whether the environment is suitable for the growth and development of crops is very important, which directly determines whether the high yield and harvest can be achieved. In order to ensure that the crops can be in the most suitable growth environment in the greenhouse, the environmental parameters in the shed must be accurately monitored. Aiming at the problems of high cost and complicated wiring, a design scheme of indoor environment monitoring system based on close-range wireless network communication technology is proposed. This scheme selects the SHT21, TSL2561, CCS811 to detect the environmental parameters such as temperature and humidity, light intensity and carbon dioxide gas concentration in the shed. The CC2530 microprocessor is used to collect the environmental parameters of the sensor in real time, and the data is transmitted and uploaded wirelessly through the ZigBee module to realize the host PC monitoring. The temperature error of the system does not exceed $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ in the actual test, the humidity error does not exceed $\pm 2\%\text{RH}$, the packet loss rate of the network data in the range of use distance does not exceed 2%, the system runs stably and has strong reliability, which can meet the design requirements.

Keywords: facility greenhouse; sensors; ZigBee; CC2530; environmental monitoring

0 引言

我国是农业大国,农业关系着国计民生,对我国建成小康社会、决胜脱贫攻坚具有重要的意义。农业的做大做强根本上要依靠农业的现代化,而科技兴农则是其发展的必由之路。现代智慧农业设施大棚是农业现代化的一个典型代表^[1]。一方面,它可以为作物提供适宜生长的基础环境,促进作物快速生长,并提高质量;另一方面,它将传统农业发展方式进行了改变,使农业生产不再被自然资源和土地资源牢牢束缚,为农业走向标准化、工厂化生产提供了有效路径。尤其是在北方地区,可使农产品不再受季

节性限制,实现均衡可控的反季节上市,充分满足了社会的多元化、多层次的需求,农业经济效益显著提升,农民收入随之进一步提高。现代智慧农业设施区别于传统农业的核心技术就是农业设施环境的数字化采集和监测^[2]。显然,用人工巡查的方式会耗用大量人力,工作量巨大,对于采集数据的实时性和有效性也保障较低。若采用有线数据采集监测系统,虽可以解决采集数据的实时性和有效性问题,但是无法避免大规模进行布线,因此就会存在布线复杂、布线成本高、不适于扩展的问题,所布线在大棚内的环境中,也不可避免会受到影响,系统传输的抗干扰性和系统的稳定可靠性都会降低。在设备设计寿命到来之前,就会出现过多维护,增加使用成本^[3]。针对以上问题,采用无线传感器网络,借助低功耗近距离组网通信技术,设计了大棚环境监测系统,实现智能监测,无线传输,大量减少了劳动力,大大降低了劳动强度,降低了布线成本和维护难度,提高农业生产效率。

收稿日期:2020-06-10; 修回日期:2020-06-18。

基金项目:石家庄市科学技术研究与发展指导计划项目(121130961);石家庄学院科研启动基金项目(12QN001)。

作者简介:张 玮(1980-),男,河北省石家庄市人,硕士,讲师,主要从事电子信息和智能控制方向的研究。

1 系统架构及原理

1.1 系统结构设计

针对大棚中重要的环境参量（温度、湿度、光强度、二氧化碳浓度），系统采用模块化设计，终端传感器模块采用了无线传感器网络架构进行定义，为防止传输线路中节点故障导致数据传输中断，在传感器节点布置中，每一传感器节点的覆盖范围内都包含另外两个节点。根据测量的需要，可布置在任何所需位置，可进行方便地移动，具有小巧和自适应的特点。数据的传输依照路径最短原则进行^[4]。终端传感器节点负责采集环境参量数据，并使用无线网络传输数据，协调器将收集的信息通过 RS232 传输给主机，主机系统实现参量数据的实时显示、存储、查询、删除等功能。系统结构如图 1 所示。

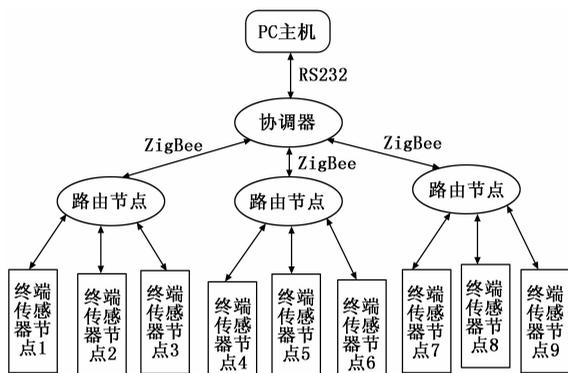


图 1 系统结构示意图

1.2 使用的无线网络技术原理

根据本系统的设计目的和要求，选择使用 ZigBee 技术来实现无线组网通信。ZigBee 是在 IEEE802.15.4 标准基础上建立的协议框架，由此标准所定义的个人区域网络的特征很多是与无线传感器网络的特征是相似的。因此很多研究机构也将它作为无线传感器网络的通信标准^[5]。它所工作的频段属于免费公用频段 2.4 GHz，在智能家居、工业监控、交通安防等方面有着广泛的应用。

数据经过路由器所产生的延时，就必然会带来能量的损耗，而数据在无线网络中的传输往往还会通过多个路由器才能完成。因此消息传递的路径损耗是不可避免的。对此 ZigBee 系统采取了一定的架构策略，比如让网络核心位置路由器短暂停止工作，期间由其它路由器完成需转发的消息，这样就可以避免该路由器因位置核心、消息不断、不得休闲而导致的能量损耗很快的情况。ZigBee 的协议栈比较特殊，特殊之处在于协议栈所使用的事件轮循机制。当 ZigBee 的 4 个层初始化完成之后，整个系统以低功耗模式状态运行。在这一过程中，一旦有事件发生，系统状态就会马上发生改变，从低功耗模式中被唤醒，转入到事件的中断处理之中。在事件发出中断请求，系统响应中断，然后保留中断的断点，完成中断服务子程序直到恢复站点中断返回，这一完整过程结束之后，系统会重新以低功耗

模式状态运行。如果遇到不同的事件却在同一时间发生的状况，系统将会依照优先级的不同，按照事件优先级从高到底的顺序依次处理。ZigBee 技术有工作和休眠两种模式，在工作模式中，数据的传输速率不高，并且传输数据量有限，很短的时间内就能完成数据的收发。只要不工作，ZigBee 节点就会以休眠状态存在^[6]，功耗很低，一般的电池工作时间可以达到 1 年。相较于其它无线传输技术而言，ZigBee 协议栈要简单的多，因而对控制器的要求较低，8 位单片机及规模很小的存储器就可以满足它的需要，具有系统开发成本低的特点。ZigBee 具有很多种样式的网络拓扑结构，根据不同的系统设计需求，选择可满足需要的拓扑机构^[7]，具有灵活性强的特点。

2 硬件部分的设计

2.1 节点电路模块

为了解决目前棚内环境监测系统使用有线系统的成本高，布线复杂等问题，在硬件电路设计上使用了无线传感器网络节点。棚内环境参量中的温湿度，光照强度，二氧化碳浓度等重要参数数据并不需要节点处理器有很高的处理能力，所以选择 TI 公司的第二代 ZigBee/IEEE802.15.4 RF 收发器 CC2530 作为核心。工业级增强型 8051 微控制器内核集成在 CC2530 片内，具有较高的灵敏度和较好的连接性能^[8]。节点硬件结构如图 2 所示。

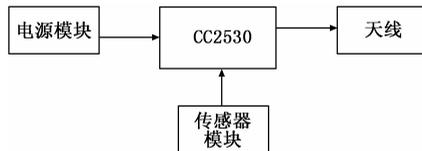


图 2 节点硬件结构图

CC2530 芯片，不仅具有较高灵敏度的无线接收能力，而且功耗很低，这得益于它所采用的三种运行模式：休眠模式、唤醒模式和中断模式^[9]。在功耗最低的休眠模式下，电流消耗仅有 1 μ A。在休眠模式中，系统可被外部中断所唤醒，从休眠至激活的时延仅为 15 ms，有效降低了系统的功耗。以 CC2530 为核心，仅需较少的外围电路就可以建成较强大的网络节点实现快速组网。

2.2 温湿度传感器模块电路

本系统中的温湿度传感器模块是要将环境中的温湿度信息进行实时精准的采集，并发送给微处理器。在设计中所采用的是瑞士 Sensirion 公司推出的数字温湿度传感器 SHT21。它的可适电压范围为 0.4~5.5 V，本系统选择 3.3 V 供电。在设计电路时，为了达到去耦滤波的目的，专门在 VDD 和 GND 之间串接了一个 10 μ 的电容，其电路如图 3 所示。

SHT21 将温度补偿和标定数据都集成在了内部电路，体积更小，功耗更低，采用了独特的电极分布和镀膜技术，使感应器在高湿环境下能够避免被氧化，从而使其在高湿环境中性能更加稳定^[10]。

2.3 光照强度传感器模块

对于太阳光照强度参数的采集，本系统采用的是

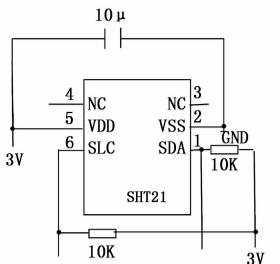


图 3 温湿度传感器电路

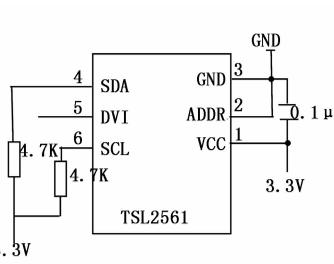


图 4 光照强度传感器电路

TAOS 公司生产的 TSL2561 可编程光强度数字转换芯片。TSL2561 内部分别集成了光敏二极管、红外响应光敏二极管以及可将光敏电流信号量转成数字量输出的积分式 A/D 转换器。同时，其内部拥有 16 个寄存器，这些寄存器都可以被微控制器所读写，通过读写，微控制器便能对 TSL2561 进行控制。电路如图 4 所示。

TSL2561 的工作电压范围是 2.7~3.5 V，具备提供 20 bit 动态范围的近适光响应的能力，能够自动抑制 50 Hz/60 Hz 的光照波动^[11]，具有功耗低，速度高，量程宽，配置灵活等优点。

2.4 二氧化碳传感器模块电路

选用 Cambridge CMOS Sensors (CCS) 半导体公司设计制造的微型低功耗二氧化碳气体传感器 CCS811。电路如图 5 所示。

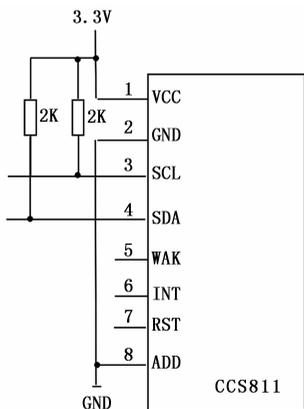


图 5 二氧化碳传感器电路图

CCS811 支持多种低功耗优化测量模式，基于主动传感模式和空闲模式不同，每小时的功耗在 360 μW~72 mW 之间。CCS 所独有的微加热板技术应用于 CCS811 之中，使得它与传统的金属氧化物气体传感器相比^[12]，简化了设计，更加稳定可靠。工作电压范围 1.8~3.6 V。

2.5 电源模块电路

为满足不同模块对供电的需求以及节点的便捷性，需要设计一个外围电源转换电路。采用 LM1117 将 USB 接 5 V 电压转换输出 3.3 V，电压精度在 1% 之内，同时它提供电流限制和热保护，为了改善瞬时响应和稳定性，可在输出端增加一个 10 μF 的电容来实现。

3 软件设计

3.1 协调器软件设计

软件设计基于由 TI 公司推出的与 CC2530 芯片相配套的 ZigBee 2007/PRO 协议栈和 IAR 集成的开发环境。传输网络的核心是协调器，要先由协调器进行组网，同时对设备初始化，并选择最优的网络信道，然后等待终端采集节点加入网络。通过判断，只允许合法的终端节点加入网络，加入的节点对所对应采集区的数据进行采集并传输给协调器，再由协调器送入 PC 主机，程序流程如图 6 所示。

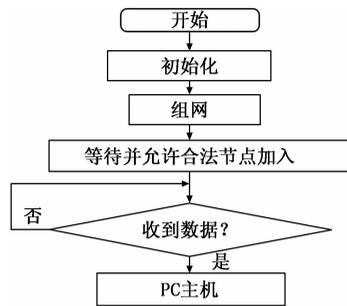


图 6 协调器软件流程图

3.2 终端节点软件设计

采用关联入网方式，初始化后，在其覆盖范围内搜寻协调器节点，并申请加入组建好的网络，协调器节点判断并允许合法的终端采集节点入网，在成功入网后，便开始控制传感器对区域内环境参数进行监测采集，之后将数据打包传送至协调器设备。程序流程如图 7 所示。

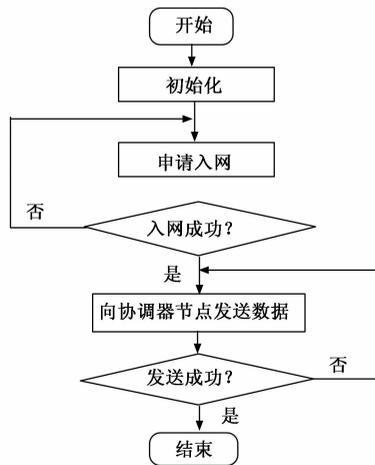


图 7 终端节点软件流程图

3.3 PC 主机监测管理系统软件设计

软件使用 C 语言进行编写，系统具有模块化特点，采用图形化操作方式设计软件^[13]。软件模块如图 8 所示，

管理软件软件划分成包含用户管理、通信系统、信息管理和数据管理在内的四大功能模块。可实现查询测试点的不同环境参数指标、针对不同环境因子设置相应的阈值、对系统进行配置管理等功能。

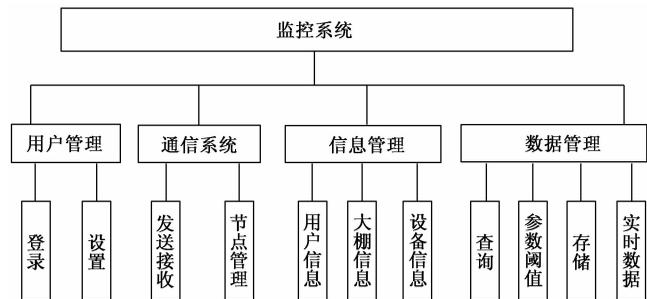


图 8 PC 主机监测管理系统软件框图

4 实验结果与分析

4.1 可靠性测试

测试设备在实际环境中的通信能力。以距离为变量，测量在不同距离情况下进行数据传输时数据包的丢失率，以此判断能否满足设计要求。设置距离变量分别为 100 m, 150 m, 250 m, 400 m, 600 m, 850 m, 每次发送不同整数(100~129)的数据包，连续发送 30 次，测试结果如表 1 所示。

表 1 传输间距与丢包情况

间距/m	累计发送数据包/个	累计接收到数据包/个	丢包率/%
100	3 435	3 435	0
150	3 435	3 431	0.12
250	3 435	3 410	0.73
400	3 435	3 397	1.1
600	3 435	3 366	2
850	3 435	3 294	4.1

实际大棚室内传输距离多为 80 m 左右，最长不会超过 150 m，大棚与管理中心的半径距离通常也在 600 m 之内，故系统可满足使用要求。

4.2 准确性测试

为了测试监测数据的准确性，分别测试某天中不同时刻的温度值和湿度值，然后与相应时刻的实际值进行对比。在实验中，实际值取在相同点位放置的 3 只数字式温湿度表所显示数值的平均值。测试对比结果如表 2、表 3 所示。温度误差不超出 $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，湿度误差不超出 $\pm 2\%\text{RH}$ ，准确性较高，能够满足实际使用的要求。

表 2 温度测试对比

测量时刻	实际温度/ $^{\circ}\text{C}$	测量温度/ $^{\circ}\text{C}$	误差值/ $^{\circ}\text{C}$
9:00	20	19.8	-0.2
10:00	21.7	21.8	0.1
11:00	24	23.7	-0.3
12:00	25.5	25.6	0.1
13:00	26.1	26.3	0.2
14:00	27	26.9	-0.1
15:00	26.4	26.6	0.2

4.3 结果分析

通过模拟智慧农业设施大棚环境，使用所设计的现代

表 3 湿度测试对比

测量时刻	实际湿度/ $\%\text{RH}$	测量湿度/ $\%\text{RH}$	误差值/ $\%\text{RH}$
9:00	60	61.8	1.8
10:00	58.3	58	-0.3
11:00	55.9	57	1.1
12:00	52.4	53.4	1
13:00	48.7	50.1	1.4
14:00	44.6	43.7	-0.9
15:00	42.1	43.3	1.2

智慧农业设施大棚环境监测系统，进行不同时刻的持续测量，上述实验测试结果表明：系统运行稳定良好，数据传输满足实时性要求；采集节点采集数据信息稳定、采集结果与标定装置显示结果误差未超出系统精度。

5 结束语

智慧农业设施大棚的发展方向是数字化、智能化及自动化，本系统设计根据设施农业发展的客观需求，将传感器网络和现代通信技术进行融合，实现了对智慧农业设施大棚环境中温、湿、光、气等环境参数的无线远程实时监控。系统采用无线传输，实现远程恶劣环境下的有效监控，减少人工作业，提高大棚管理效率。

参考文献:

- [1] 何勇, 聂鹏程, 刘飞. 农业物联网与传感仪器研究进展[J]. 农业机械学报, 2013 (10): 216-226.
- [2] 姚於康. 国外设施农业智能化发展现状、基本经验及其借鉴[J]. 江苏农业科学, 2011 (1): 3-5.
- [3] 陈国绍, 丁莉, 王中生. 基于 ZigBee 的大棚环境监测系统设计[J]. 物联网技术, 2013, 10: 16-18.
- [4] 周雅琴, 杨璐, 孙瑞志. 面向农田应用的无线传感器网络链路度量[J]. 计算机工程, 2011, 37 (1): 101-103.
- [5] 熊伟丽, 唐蒙娜, 徐保国. 基于 OPNET 的无线传感器网络 MAC 协议研究[J]. 传感器学报, 2010, 1: 139-143.
- [6] 刘泽, 王楠. 近距定位系统的物联网案例分析与方案设计[J]. 邮电设计技术, 2012, 10: 33-35.
- [7] 唐英姿, 蒋峰. 远程无线高精度温室大棚环境监控系统设计[J]. 江苏农业科学, 2017 (15): 217-222.
- [8] 刘石磊, 李宝刚. 基于 CC2530 的温室智能控制系统设计[J]. 机械制造与自动化, 2014, 43 (6): 184-187.
- [9] 李正民, 张兴伟, 柳宏川. 基于 CC2530 的温湿度检测系统的设计与实现[J]. 测控技术, 2013 (5): 25-28, 39.
- [10] 车宇, 伟利国, 李卓立. 温湿度传感器 SHT21 在安全储粮监测系统中的应用[J]. 电子产品世界, 2013 (3): 36-38, 42.
- [11] 吕立新, 汪伟, 卜天然. 基于无线传感器网络的精准农业环境监测系统设计[J]. 计算机系统应用, 2009 (8): 5-9.
- [12] 王梓, 刘溟, 邹建明等. 基于 TVOC 检测的干式空心电抗器过热故障诊断方法[J]. 高电压技术, 2017, 43 (7): 3756-3762.
- [13] 李萌, 邓琛, 王昌志. 智能农业大棚无线监测与管控的平台系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2015 (11): 69-72.