

基于 CC2430 的温室无线传感器节点设计与应用

黄家露 杨 方 张衍林

华中农业大学工学院, 武汉 430070

摘要 针对温室环境监控的特点,以 CC2430 芯片为核心设计一种传感器节点。传感器节点上有温湿度、光照度等传感器,并留有外接接口可以扩展各种传感器。各节点工作在频分多址(FDMA)通信模式下无线传输数据,组成一个小型的无线传感器网络(WSN)。温室大棚内的各采集节点将采集的数据通过各自的传输信道传输到网关节点上,最终计算机通过串口接收到网关节点的数据,并通过软件保存数据。试验结果表明:设计的无线传感器节点在 FDMA 通信系统模式运行下,能够稳定、高效、低能耗地监测温室大棚。

关键词 无线传感器网络; CC2430; 传感器节点; 频分多址(FDMA)

中图分类号 TP 212 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2013)05-0119-05

无线传感器网络(wireless sensor network, WSN)是当今备受各界关注的、涉及知识高度集成、多学科高度交叉的前沿热点研究领域,综合了嵌入式计算技术、现代网络及无线通信技术、传感器技术等,能够通过无线通信方式形成一个多跳的自组织网络系统,协作地感知、采集和处理网络覆盖区域中感知对象的信息并发送给用户^[1],在很多重要领域有巨大的潜在价值,被认为是对未来有深远影响力的技术之一。

无线传感器网络由于体积小、造价便宜、功耗低、便于检测各种各样的环境信息而被广泛应用于现代农业中,将其引入温室大棚生产中,可智能化大幅度提高劳动生产率和资源产出率,改善温室等设施内工作环境与条件,提高工作效率,对实现温室作物生产的可持续发展具有重要意义^[2-5]。

传统的温室测控系统大多采用有线布网和人工测量,这不仅导致现场安装困难,还增加了电气工程的施工费用和施工难度等问题。笔者设计了一种以 CC2430 为核心的无线传感器网络节点,并基于频分多址(frequency division multiple access, FDMA)通信原理无线传输数据。这个传输系统采用无线传输,方便了系统的安装与后期维护,可以减少温室测控系统的成本。本设计的 WSN 节点分为采集节点、网关节点两类。

1 材料与方法

1.1 无线传输模块简介

无线传输模块 CC2430 是 Chipcon 公司推出的用来实现嵌入式 ZigBee 应用的片上系统。CC2430 延用了 CC2420 芯片的架构,在单个芯片上整合了 ZigBee 射频(RF)前端、内存和微控制器。CC2430 拥有 21 个可编程 I/O 引脚、32 kHz 晶振的休眠模式定时器、上电复位电路、掉电检测电路等。CC2430 芯片采用 0.18 μm CMOS 工艺生产,工作时的电流损耗为 27 mA;在接收和发射模式下,电流损耗分别低于 27 mA 或 25 mA。CC2430 的休眠模式和转换到主动模式的超短时间特性,满足节点低能耗的应用。

1.2 采集节点硬件设计

WSN 节点通常由传感器模块、处理器模块、无线通信模块和电源模块构成^[6]。处理器模块和无线通信模块采用 CC2430 芯片,能简化射频电路的设计。

因设计的无线传感器节点主要应用于温室环境监控,故选择与农作物生长最密切的温度、湿度、光照度、CO₂浓度等因子的传感器。无线传感器节点电源模块采用 2 节 1.5 V 干电池。采集节点的硬件原理如图 1 所示。

收稿日期: 2012-12-29

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项(2013JC004)和公益性行业(农业)科研专项(201303099)

黄家露, 硕士研究生。研究方向: 机电一体化。E-mail: 1357893935@qq.com

通信作者: 杨 方, 博士, 讲师。研究方向: 网络化控制系统的故障诊断与容错控制。E-mail: yangfang@mail.hzau.edu.cn

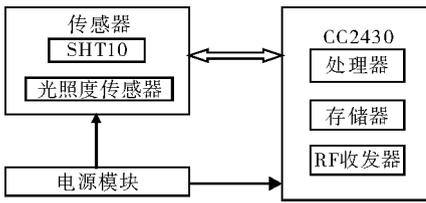


图 1 采集节点的硬件原理图

Fig.1 Hardware principle diagram of acquisition nodes

1.3 网关节点硬件设计

在本设计中网关节点只有 1 个,其功能是为局域网提供不同信道并接收不同采集节点发送来的数据,并在网关节点显示数据后利用串行接口将数据传输到计算机(PC 机)中存储。因传感器一般分为数字型和模拟型 2 种,故在本设计中选择具有代表性的 SHT10 温湿度数字型传感器和模拟型的光照度传感器。

另外,采集节点留有 I/O 口,可用于传感器的外接。网关节点的硬件原理如图 2 所示。

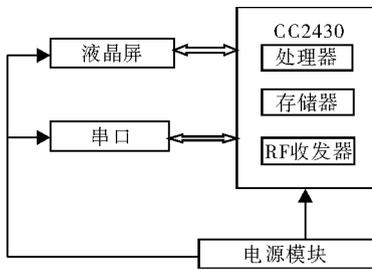


图 2 网关节点的硬件原理图

Fig.2 Hardware principle diagram of gateway node

1.4 SHT10 温湿度传感器数据采集

1)SHT10 电路设计。SHT10 用于采集温室空气、土壤中的温度与湿度,是一种数字型高精度温湿度传感器。传感器工作电压为 2.4~5.5 V,测相对湿度为 0~100%(精度为±4.5%);测温度-40~123.8℃(25℃时精度为±0.5℃),输出为数字量^[7]。传感器与处理器的通信电路如图 3 所示。

SHT10 采用一条双向串行线 SDA 与处理器进行数据通信,时钟线 SCL 负责处理器与 SHT10 通信同步。SDA 在 SCL 时钟下降沿之后改变状态,并仅在 SCL 时钟上升沿有效。数据传输期间,在 SCL 时钟高电平时,SDA 必须保持稳定。为避免信号冲突,微处理器应驱动 SDA 在低电平。需要一个外部阻值约 10 kΩ 的上拉电阻将信号提拉至高电平。其电源引脚(VCC,GND)之间增加一个 0.1 μF 的电容,用以去耦滤波。

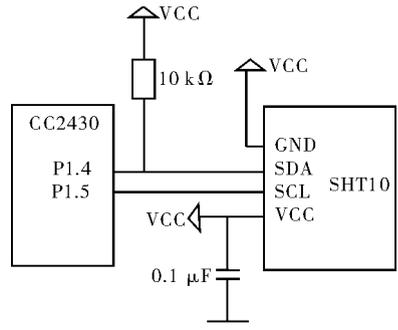


图 3 SHT10 与 CC2430 的连接电路图

Fig.3 Connected circuit diagram between SHT10 and CC2430

2)SHT10 数据采集。SCL 为时钟信号,SDA 双向串行通信线可同时完成写命令与读数据。数据采集时首先处理器向 SHT10 发送测量命令(00000011 测量温度,00000101 测量湿度),SHT10 接收命令后进行数据测量,测量完成后处理器来读取数据。数据采集控制流程如图 4 所示。

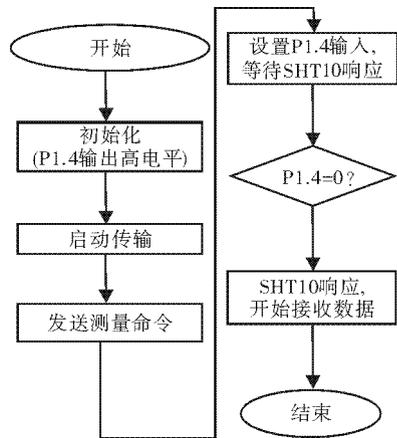


图 4 SHT10 数据采集控制流程图

Fig.4 Control flow chart of collecting data of SHT10

1.5 光照度传感器电路设计

光照度传感器的核心元件是光敏电阻,其工作原理是基于内光电效应。在光敏电阻两端的金属电极加上电压,其中便有电流通过,受到波长的光线的照射时,电流就会随光强的变大而变大,从而实现光电转换。传感器的主要性能指标:测量范围 0~20 万 lx;光谱范围 400~700 nm(可见光);测量误差 < 2%^[8]。光照度传感器连接电路如图 5 所示。

1.6 FMDA 通信系统原理

1)FMDA 通信技术。FDMA 是数据通信中的一种技术,即不同的用户分配在时隙相同而频率不同的信道上^[9]。与固定分配系统相比,FDMA 使通道容量可根据要求动态地进行交换。FDMA 技术

将可用的频率带宽拆分为具有较窄带宽的子信道，这样每个子信道均独立于其他子信道，从而可以被分配给单个发送器^[10]。FDMA 通信系统原理如图 6 所示。

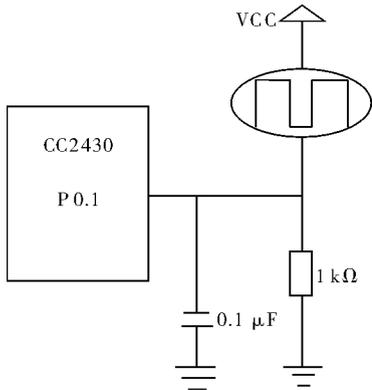


图 5 CC2430 与光照度传感器连接电路图

Fig. 5 Connected circuit diagram between CC2430 and the module of intensity of illumination

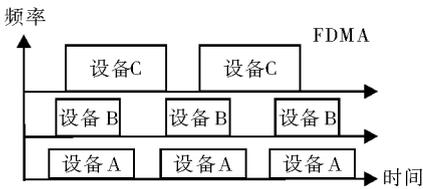


图 6 FDMA 通信系统原理图

Fig. 6 Diagram of principle based on FDMA communicational system

2) 发送程序实现。数据的循环发送是 FDMA 发送程序的主要功能，开始为初始化程序，初始化采集节点的 I/O 口、LED 灯等。LED 灯 3 次闪烁后，开始数据的采集与发送。为了使发送与接收程序的频道相对应，在初始化后，可根据采集节点的 ID 号重新设置节点的发送接收频道，这样使每个接收节点独自占有一个频道。采集节点发送数据流程如图 7 所示。

3) 接收程序实现。因为试验中用到了 5 个采集节点，所以 FDMA 接收程序在 5 个循环频道上监听，相邻频道的接收时间间隔相同。程序首先是初始化程序，初始化串口中断、LED 灯等。LED 灯 3 次闪烁后进入程序的主循环部分，等待信号的接收并将接收到数据通过串口输入到 PC 串口助手中存储，超出自己的频道间隔后等待接收下一个频道的数据。网关节点接收程序流程如图 8 所示。

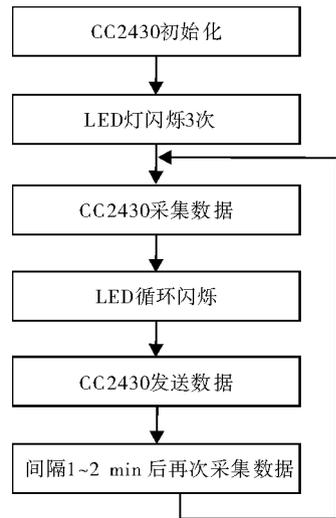


图 7 采集节点发送数据流程图

Fig. 7 The flow chart of transmitting data in acquisition nodes

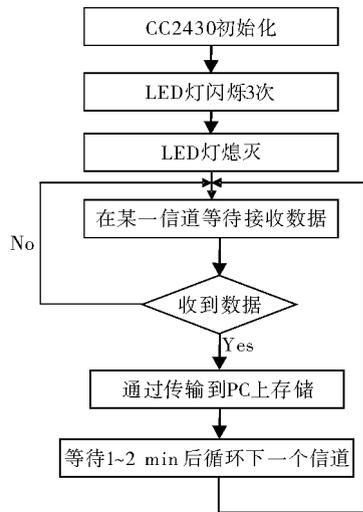


图 8 网关节点接收程序流程图

Fig. 8 The flow chart of receiving data in gateway node

2 结果与分析

试验在华中农业大学工科基地的温室大棚中进行。在温室大棚内设 5 个采集节点，可采集多种环境数据(作物冠层温度、空气湿度、土壤温度、土壤湿度、CO₂ 浓度、光照度等)。在距大棚约 30 m 的控制室内放置网关节点(接收节点)，并通过串口将数据保存在计算机中。在空旷的平地上，CC2430 的最大传输距离为 70~80 m^[3]。在温室大棚中，因受墙、大棚和温室大棚内植被的阻挡，实际最大传输距离为 24.5 m。在没有采用任何低功耗措施时，

2 节 1.5 V 的普通电池能够供采集节点工作不到 1 d, 通过控制数据采样间隔和采取休眠等低功耗措施, 2 节电池可供采集节点工作 1 周以上。图 9 是 5 个采集节点连续工作 24 h 的温度和湿度变化曲线。

图 9 中的数据是在大量数据中选择温湿度变化较大的 3 组连续数据, 其中第 1 组(A, B)采集时间为某一天的上午 10:00 到第 2 天上午 10:00, 第 2 组(C, D)和第 3 组(E, F)采集时间为另外 2 个连续 24 h 的第 1 天上午 8:30 到第 2 天上午 8:30。3 组数据在时间上不重叠, 且数据统计间隔为 30 min。

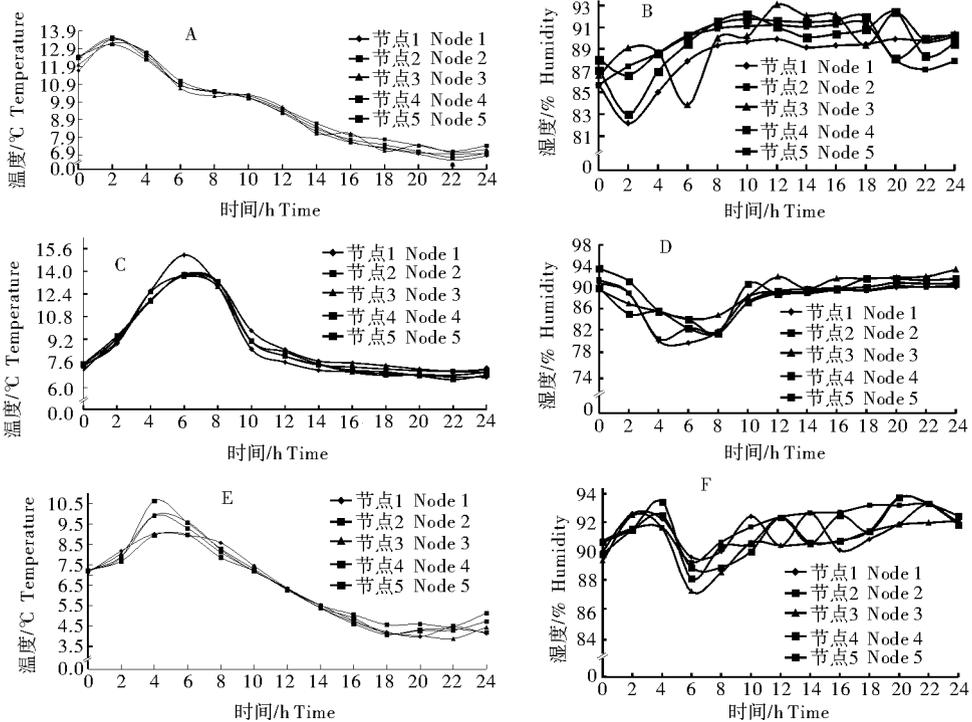


图 9 各节点连续 24 h 温度和湿度的变化

Fig. 9 Changes of temperature and humidity data from each node in successive twenty-four hours

3 讨论

本试验结果表明, 采用的无线传输系统能够稳定、持续地检测温室大棚。在试验时, 理论上采集和接收的时间间隔均为 6 min, 在 30 min 内接收节点能一次接收每个发送节点 1 次数据。但在实际试验中, 由于相互通信干扰和天气变化, 若要 30 min 内至少在 PC 机上显示每个节点数据 1 次, 则实际间隔时间要小些, 尤其是在恶劣天气下, 实际间隔时间要比 6 min 小得多。

本试验按照采集节点到网关节点的距离做了 3 组对比测试, 每 2 个节点的距离分别为 10 m、15 m、

由图 9 可知, 当节点温度比较高时, 相应各节点的湿度值较低, 尤其在第 2 次连续 24 h 数据采集中, 在 2~6 h (即 10:30—14:30) 期间, 因天气由阴转晴, 温度急速上升, 与此同时湿度急速下降 (图 9-C、D); 在 0~2 h (即 10:00—12:00) 期间, 因天气由晴转阴, 则出现相反情况, 温度下降时湿度急速上升 (图 9-A、B)。另外, 由图 9-E、F 可知, 温度的上升也伴随着湿度下降。试验结果表明, 采集到的数据是真实有效的, 并且从网关节点接收显示到 PC 机上的数据量是连续平稳的。

20 m。由试验结果可知, 3 组对比测试在相同环境下采集的数据量相同, 表明采用的无线传输系统内各个节点能平稳传输数据。

本试验结果还表明, 在恶劣天气情况下, 网关节点接收到的各采集节点数据量比天气好时相对要少些, 但是两者能耗大体相同。这主要是因为恶劣天气影响了数据的传输。

由于在 FDMA 通信理论中, 缺少了时间同步的设置, 因此浪费了宝贵的通信时间资源, 也没有最大限度地减少节点的能耗。今后在设计和改进无线网络监测系统时可加上网络同步控制, 使网络监测系统能够更平稳、更低功耗地进行检测。

参 考 文 献

- [1] 文涛,洪添胜,李震,等. 橘园无线传感器网络不同节点部署方式下的射频信号传播试验[J]. 农业工程学报,2010,26(6):211-215.
- [2] 尹令,刘财兴,洪添胜,等. 基于无线传感器网络的奶牛行为特征监测系统设计[J]. 农业工程学报,2010,26(3):203-208.
- [3] 黄建清,王卫星,姜晟,等. 基于无线传感器网络的水产养殖水质监测系统开发与试验[J]. 农业工程学报,2013,29(4):183-190.
- [4] 郭文川,程寒杰,李瑞明,等. 基于无线传感器网络的温室环境信息监测系统[J]. 农业机械学报,2010,41(7):181-185.
- [5] WU F, PAI H T, ZHU X X. An adaptable and scalable group access control scheme for managing wireless sensor network [J]. *Telematics and Informatics*, 2013(5):144-157.
- [6] YANG F, LI X J, CHANG J L. Design of system for monitoring greenhouse environment based on wireless sensor network [C]. *Second International Conference on Electric Information and Control Engineering*. Lushan: [s. n.], 2012:2857-2859.
- [7] 史旺旺. 基于CC2430温湿度监测的无线传感器网络设计[J]. 传感器与仪表仪器, 2009, 25(4):131-135.
- [8] 高峰,俞立,张文安,等. 基于无线传感器网络的作物水分状况监测系统研究与设计[J]. 农业工程学报, 2009, 25(2):107-112.
- [9] 张雪,倪桂强,金凤林,等. MF-TDMA信道分配研究[J]. 计算机与数字工程, 2010, 253:58-60.
- [10] 杨杰. MF-TDMA体制下载波信道管理[J]. 通信技术, 2011, 44(7):10-12.

Design and application of wireless sensor nodes based on CC2430 in greenhouses

HUANG Jia-lu YANG Fang ZHANG Yan-lin

College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract In this research, a kind of sensor nodes which uses CC2430 chip as the core was designed and used to monitor the environment of a greenhouse, and it consists of sensors of temperature, humidity, illuminance and the like. Additionally, every sensor node keeps some accesses open to other sensors. Every node works effectively in the communicational form of frequency division multiple access (FDMA) to transmit information, which consists of a relative small wireless sensor network (WSN). The nodes which are in a greenhouse canopy and collect data transmit information through their own channels to gate node which is out of the greenhouse canopy and eventually transmits the collected information making use of serial port to personal computer that reserves them via a software. In the process of practical production, it indicates that under the communicational system of FDMA, the wireless sensor nodes were stable, highly efficient and much lowlier in energy consumption to monitor the greenhouse canopy.

Key words wireless sensor network; CC2430; sensor nodes; frequency division multiple access (FDMA)

(责任编辑:陈红叶)