

面向精细农业的土壤温度监测传感器节点设计^{*}

张喜海 张长利 房俊龙 于 啸 梁建权

(东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030)

【摘要】 设计了一种能够监测土壤温度的无线智能传感器节点,硬件系统基于片上系统 CC2430 和 DS18B20 进行开发,软件部分包括温度采集和数据传输。实验表明,该节点可以实现土壤温度信息的采集和传输,且结构紧凑、工作稳定和功耗低。节点之间有效通信距离可达 80 m,误码率为 1% 左右。可以满足精细农业作业要求,同时也为无线传感器网络通信协议的进一步研究提供了实验平台。

关键词: 精细农业 土壤温度 传感器节点 无线传感器网络 ZigBee

中图分类号: S126; TN919.72 **文献标识码:** A

Smart Sensor Nodes for Wireless Soil Temperature Monitoring Systems in Precision Agriculture

Zhang Xihai Zhang Changli Fang Junlong Yu Xiao Liang Jianquan

(College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract

A new smart sensor node to monitor soil temperature, including hardware and software, is developed through modular method. The hardware system is developed based on a CC2430 micro-controller and DS18B20. The software system includes the temperature collection and information transmission. The results show that the node can collect soil temperature data and then send the data to the upper network node. This node possesses compact structure, stable performance and low energy consumption. The effective communications distance among nodes reaches 80 m and the error ratio is approximately 1%, which meets the requirement of precision agriculture. The node provides a better hardware platform for further study on the communication protocols of wireless sensor networks.

Key words Precision agriculture, Soil temperature, Sensor nodes, Wireless sensor networks, ZigBee

引言

提供准确实时的信息是实施精细农业的前提条件。一般在线监测利用传感器采集数据,通过网络发送到控制中心,其数据传输一般利用公共有线电话网或移动电话网进行。然而,在大范围测量时,存在费用高、数据采集精度差和能耗大等缺点^[1~2]。

无线传感器网络由低功耗微小网络节点通过自组织方式构成无线通信网络,能够通过密集

布置,实时协作感知、监测和采集网络分布区域内的各种微观农业环境信息,并对信息进行处理。其中,传感器节点对传感器网络传递农田信息的精度、数量和能量消耗等十分重要^[3]。目前,国内外研制出很多种传感器节点。它们在实现原理上相似,只是分别采用了不同的微处理器等器件。典型传感器节点包括 Smart dust、Mica 系列、Telos 和 Crossbow 公司的产品等^[4~6]。

本文针对实施精细农业中信息实时采集和迅速

收稿日期: 2009-07-10 修回日期: 2009-07-24

^{*} 黑龙江省高校寒地蔬菜生物学重点实验室开放课题资助项目(GS2009010)和东北农业大学创新团队(CXZ010-1)

作者简介: 张喜海,讲师,主要从事电子信息技术在农业中应用研究,E-mail: xhzhang@neau.edu.cn

通讯作者: 张长利,教授,主要从事农业自动化研究,E-mail: zhangcl@neau.edu.cn

准确传输的要求,构建一种基于无线射频技术的土壤温度实时监测终端节点。

1 节点硬件设计

无线传感器网络的节点由处理器模块、传感器模块、无线通信模块和电源模块等构成。处理器模块和无线通信模块采用 CC2430 芯片,从而简化了射频电路的设计。传感器模块采用集成温度传感器 DS18B20。电源模块采用电池供电。节点的硬件原理框图如图 1 所示。

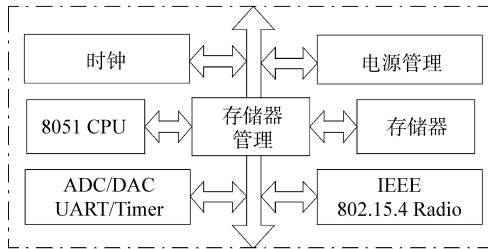


图 1 CC2430 原理框图

Fig. 1 CC2430 block diagram

1.1 CC2430 芯片

CC2430 芯片是 TI 公司收购无线单片机公司 CHIPCON 后推出的新一代 ZigBee 无线单片机系列芯片。CC2430 是一款真正符合 IEEE 802.15.4 标准的片上 SOC ZigBee 产品。芯片的主要特点:内含高性能和低功耗的 8051 微控制器核;集成有符合 IEEE 802.15.4 标准的 2.4 GHz 的 RF 无线电收发机;休眠模式时仅 0.9 μ A 的电流消耗,可用外部中断或 RTC 唤醒系统;待机模式时的电流消耗小于 0.6 μ A,也可以用外部中断唤醒系统;硬件支持 CSMA/CA 功能;具有较宽的电压范围 (2.0 ~ 3.6 V);具有数字化的 RSSI/LQI 支持和强大的 DMA 功能;具有电池监测和温度感测功能;内部集成有 14 位模数转换的 ADC;集成有 AES 安全协处理器;带有 2 个可支持几组协议的 UART 以及 1 个符合 IEEE 802.15.4 标准的 MAC 计时器。同时带有 1 个常规 16 位计时器和 2 个 8 位计时器等。CC2430 的外围元件数目很少,它使用一个非平衡天线来连接非平衡变压器,以使天线性能更加出色^[7]。CC2430 应用电路如图 2 所示。

1.2 土壤温度传感器

系统采用 Dallas 半导体公司的数字化温度传感

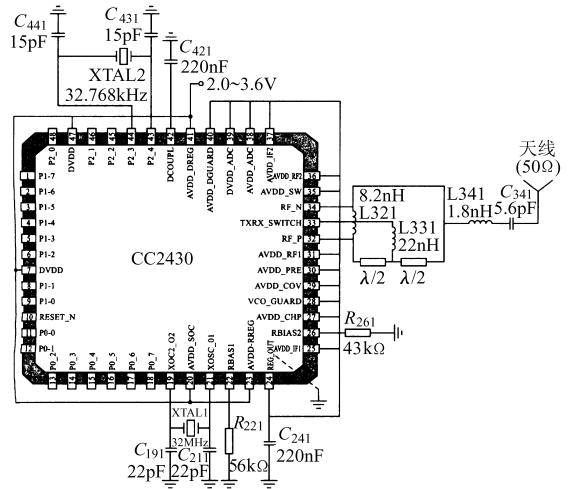


图 2 CC2430 应用电路

Fig. 2 CC2430 application circuit

器 DS18B20,它具有结构简单、体积小、功耗低、无须外接元件和用户可自行设定预警上下限温度等特点,用户可轻松地组建传感器网络^[5]。DS18B20 是单总线(1-Wire BUS)数字温度传感器,可以提高系统的抗干扰性,适合于恶劣环境的现场温度测量。其测量温度范围为 -55 ~ 125 $^{\circ}$ C,在 -10 ~ 85 $^{\circ}$ C 范围内,精度为 $\pm 0.5^{\circ}$ C。可编程设定 9 ~ 12 位的分辨率,默认值为 12 位,转换 12 位温度信号所需最大时间为 750 ms。检测温度由 2 字节组成,高字节 MSB 的高 5 位 s 代表符号位,如果温度为负则 s 为 1,否则为零。低字节 LSB 的低 4 位是小数部分,LSB 高 4 位及 MSB 低 3 位是整数部分,具体格式如图 3 所示。

DS18B20 与 CC2430 的通信电路如图 4 所示, V_{DD} 引脚直接连接外部电源,CC2430 的 P0.0 脚与 DS18B20 的数字输入/输出脚 DQ 相连,单总线需要一个约为 4.7 k Ω 的上拉电阻,DS18B20 在空闲时,其 DQ 脚由上拉电阻置为高电平。

2 节点软件设计

2.1 土壤温度数据采集

温度传感器 DS18B20 采用单总线方式与微处理器通信,根据 DS18B20 的通信协议,主机控制 DS18B20 完成温度转换必须遵循以下顺序:初始化、ROM 操作命令、暂存器操作命令,这样才能对 DS18B20 进行预定的操作。初始化要求 CPU 将数据线下拉 500 ms,然后释放,收到信号后等待 15 ~

	BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
LSB	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰	2 ⁻¹	2 ⁻²	2 ⁻³	2 ⁻⁴
	BIT15	BIT14	BIT13	BIT12	BIT11	BIT10	BIT9	BIT8
MSB	s	s	s	s	s	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴

图 3 DS18B20 测温字节格式

Fig. 3 Temperature register format

60 ms,然后发出 60~240 μ s 的低脉冲,CPU 收到此信号表示复位成功。因为总线上只有一个 DS18B20,为了简化程序,编程时跳过了 ROM 序列号的读取^[6]。读取 DS18B20 的温度流程图如图 5 所示。

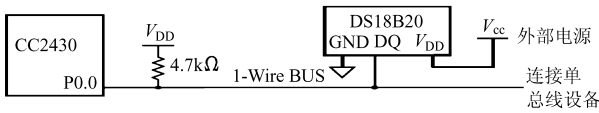


图 4 DS18B20 与 CC2430 连接电路图

Fig.4 Interface between DS18B20 and CC2430

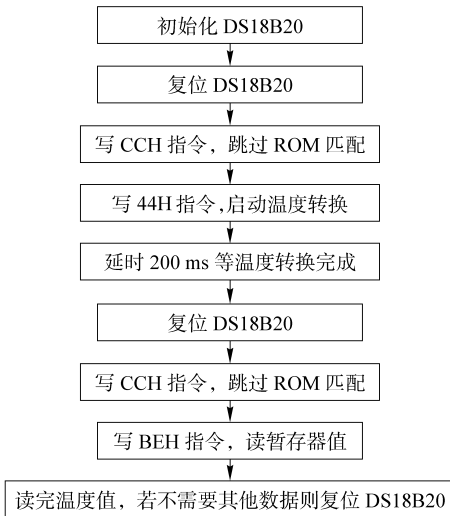


图 5 DS18B20 工作流程图

Fig.5 Working flow chart of DS18B20

2.2 ZigBee 协议栈

完整的 ZigBee 协议栈由物理层、介质访问控制层、网络层等组成。ZigBee 协议栈如图 6 所示,ZigBee 协议栈的网络层、安全层和应用程序接口等由 ZigBee 联盟制定。其中安全层主要实现密钥管理、存取等功能。应用程序接口负责向用户提供简单的应用软件接口,包括应用子层支持、ZigBee 设备对象等,实现应用层对设备的管理。

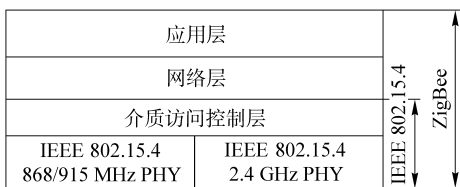


图 6 ZigBee 协议栈结构示意图

Fig.6 ZigBee protocol stack architecture

ZigBee 协议栈运行在一个 OSAL(操作系统抽象层)操作系统上。此操作系统基于任务调度机制,通过对任务的事件触发来实现任务调度。每个任务都包含若干个事件,每个事件都对应一个事件号。当一个事件产生时,对应任务的事件就被设置为相应的事件号,从而事件调度就会调用相应的任务处

理程序^[8-9]。

2.3 无线通信

以 2 个节点之间的通信为例,描述点对点通信的过程和实现方法。完成一次数据传送的程序流程如图 7 所示。系统初始化主要是将系统的工作频率设为 32 MHz 的晶振频率。RF 初始化时,先设置通信频率,再设置 RFPWR. RREG_RADIO_PD 位为 1 给 RF 供电。DMA 的初始化阶段要为 Tx 分配 1 个空闲的 DMA 通道。首先要为通道 0 和通道 1~4 分别设置好通道描述数据结构的存放地址,并将首地址分别写入 DMA0CFGH; DMA0CFGL 和 DMA1CFGH; DMA1CFGL。再为这个分配好的 DMA 通道设置其描述数据结构。

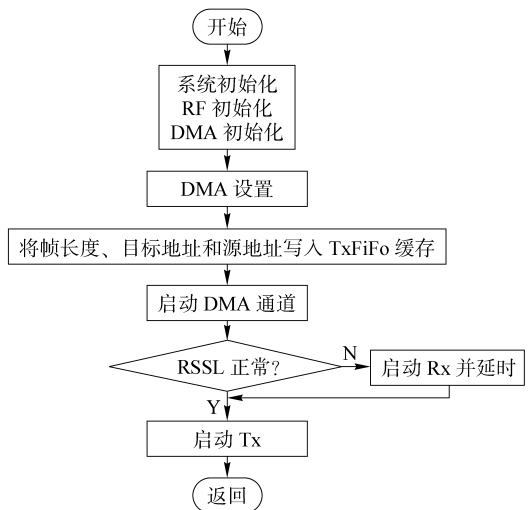


图 7 数据发送程序流程图

Fig.7 Flow chart of data distribution procedures

DMA 描述设置好后,通过设置寄存器 DMAARM 和 RMREQ 的位来准备相应的 DMA 通道以及启动这个通道上数据块的传输。在启动 DMA 数据传输之前,将当前数据帧的长度、目标节点地址、源节点地址、标志字节通过直接写寄存器 RFD 的方式写入 TxFiFo。这样在启动 DMA 传输后,完整的数据帧将被传输至 TxFiFo。通过给 CSP 发送指令 ISTXONCCA 启动 Tx 传输。这就完成了一帧数据的发送。

数据接收的过程同样需要设置系统工作频率为 32MHz,且应确保 Rx 工作在 Tx 相同的频道上,并设置 DMA 通道。其中 DMA 的数据源为寄存器 RFD,并将 DMA 触发信号设为 Radio,即 Radio 接收到数据时触发 DMA。

3 实验结果

为方便将传感器接口与无线模块接口连接,发送用户数据,采用模块化设计方法,设计了基于通用

异步收发模式接口。为了对串口数据进行在线调试,设计两部分实验:首先是 CC2430 部分,此部分采用四层板设计,上面有核心芯片 CC2430 和其他外围器件;其次是测试板,该板采用双层板设计,包含 USB、UART、液晶显示屏、指示灯和调试接口等。该设计既可以从 USB 接口截取电源,又可以使计算机调试 UART 更加方便。同时也简化了射频板的设计,使该部分通用性更强。系统总体结构紧凑,布局合理、体积小,如图 8 所示。

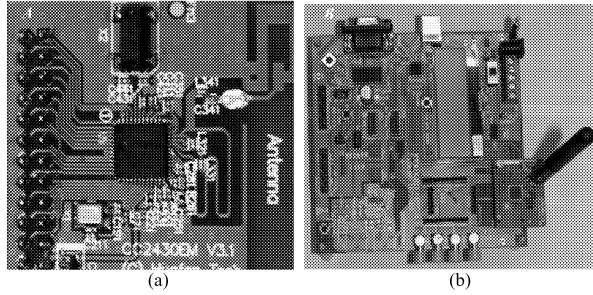


图 8 硬件电路

Fig.8 Hardware circuit

(a) CC2430 模块 (b) 测试板

在晴朗天气条件下的空旷田地,节点之间的有效通信距离可达 80 m,误码率为 1% 左右。当距离超过 80 m,信号接收断续或无信号;在有障碍物情况下(如存在一堵混凝土墙)通信超过 30 m 时信号接收断续或无信号。功率放大测试中,带 PA 功能的节点输出功率达到 23 dBm,可以满足设计性能。综上所述,通过测试表明基本达到设计要求。

4 结束语

针对精细农业作业中土壤温度的获取,设计开发了利用片上系统芯片 CC2430 和 DS18B20 构成的无线传感器网络节点,并进行测试。实验结果表明,该节点具有结构紧凑,体积小,工作稳定,功耗低等特点。因此,该节点可以满足精细农业作业要求,同时也为无线传感器网络通信协议的进一步研究提供了实验平台。

参 考 文 献

- 1 Bogen H R, Huisman J A, Oberdörster C, et al. Evaluation of a low-cost soil water content sensor for wireless network applications[J]. *Journal of Hydrology*, 2007, 344(1~2): 32~42.
- 2 Wang N, Wang M H, Zhang N Q. Wireless sensors in agriculture and food industry: recent development and future perspective[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2006, 50(1):1~14.
- 3 王玮,樊则宾. 基于 CC2430 的无线温度检测终端的设计[J]. *电子工程师*, 2007, 33(8):78~80.
Wang Wei, Fan Zebin. Design of wireless temperature detect based on CC2430[J]. *Electronic Engineer*, 2007, 33(8): 78~80. (in Chinese)
- 4 李建中,高宏. 无线传感器网络的研究进展[J]. *计算机研究与发展*, 2008, 45(1):1~15.
Li Jianzhong, Gao Hong. Survey on sensor network research[J]. *Journal of Computer Research and Development*, 2008, 45(1):1~15. (in Chinese)
- 5 Cardell-Oliver R, Smettem K, Kranz M, et al. A reactive soil moisture sensor network: design and field evaluation[J]. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2005, 1(2):149~162.
- 6 Song G M, Zhou Y X, Wei Z G, et al. A smart node architecture for adding mobility to wireless sensor networks[J]. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2008, 147(1):216~221.
- 7 宁炳武,刘军民. 基于 CC2430 的 ZigBee 网络节点设计[J]. *通信与网络*, 2008(3):95~99.
Ning Bingwu, Liu Junmin. The design of ZigBee network nodes based on CC2430[J]. *Communication and Network*, 2008(3):95~99. (in Chinese)
- 8 蔡义华,刘刚,李莉,等. 基于无线传感器网络的农田信息采集节点设计与试验[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(4):176~178.
Cai Yihua, Liu Gang, Li Li, et al. Design and test of nodes for farmland data acquisition based on wireless sensor network [J]. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(4):176~178. (in Chinese)
- 9 Sinem C E. Power efficient and delay aware medium access protocol for sensor networks[J]. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2006, 5(7):920~930.
- 10 王凤花,张淑娟. 精细农业田间信息采集关键技术的研究进展[J]. *农业机械学报*, 2008, 39(5):112~121, 111.
Wang Fenghua, Zhang Shujuan. Research progress of the farming information collections key technologies on precision agriculture[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2008, 39(5):112~121, 111. (in Chinese)