

基于 ZigBee 的温室环境监测图像传感器节点设计*

赵春江¹ 屈利华² 陈明² 杨信廷¹ 孙传恒¹ 李文勇¹

(1. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097; 2. 上海海洋大学信息学院, 上海 201306)

【摘要】 设计了一种能够监测温室环境的无线智能图像传感器节点, 采用 CC2430 与 LPC1766 芯片相结合作为硬件处理平台, 通过串口摄像头获取图像帧, 利用 ZigBee 帧协议设计图像包格式, 对图像数据进行分包组网传输。实验表明该节点最大通信距离可达 160 m, 节点丢包率较低, 一帧 JPEG 格式的温室图像大小约为 10 kB, 通过 ZigBee 传输一帧图像大约为 135 s。该节点可以实现温室环境图像信息的采集和传输, 且结构紧凑、工作稳定、功耗低, 可以满足温室环境监测的要求。

关键词: 温室 环境监测 无线传感器网络 传感器节点 ZigBee

中图分类号: X83: S625 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2012)11-0192-05

Design of ZigBee-based Greenhouse Environmental Monitoring Image Sensor Node

Zhao Chunjiang¹ Qu Lihua² Chen Ming² Yang Xinting¹ Sun Chuanheng¹ Li Wenyong¹

(1. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China

2. College of Information Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract

A wireless intelligent image sensor node was designed. The hardware processing platform combined chip CC2430 and LPC1766. Image frame, which was collected by the serial camera, was divided into many packets which were transmitted through ZigBee protocol one by one. The experiment results showed that the node's maximum communication distance was 160 m, and the node packet loss rate was low. In addition, the JPEG format image acquired by camera was about 10 kB which takes 135 s to transmit via ZigBee. The designed node, with compact structure, stability work condition and low power consumption, could realize acquisition and transmission of the greenhouse environment information. So, it can meet the need of the greenhouse environment monitoring.

Key words Greenhouse, Environmental monitoring, Wireless sensor networks, Sensor node, ZigBee

引言

有线通信网络存在布线难、复杂性高、能耗大的问题, 无法在温室监控领域大规模推广应用。ZigBee 是一种低成本、低功耗、低速率的短距离无线通信技术, 能够满足小型化、低成本设备无线联网要求, 基于 ZigBee 的无线传感器网络可有效地用于温

室环境监测系统中。由于温室信息采集时监测周期较长, 研究人员设计了多种用于不同应用场合的环境信息传感器节点及多媒体的图像信息传感器节点^[1-8]。

为了获取温室的生产履历信息, 除了要采集环境温湿度、光照、CO₂ 浓度等环境信息外, 采集作物生长状况的图像信息也十分重要^[9-13], 本文基于

收稿日期: 2012-05-30 修回日期: 2012-06-06

* 国家高技术研究发展计划(863 计划) 资助项目(2011AA100706) 和北京市科技计划资助项目(D111100001011002)

作者简介: 赵春江, 研究员, 博士生导师, 主要从事农业信息化关键技术研究, E-mail: zhaocj@nercita.org.cn

ZigBee 无线技术,设计一种用于温室环境监测的图像传感器节点,对采集的图像利用 ZigBee 网络进行分包多跳无线传输后组包实现图像数据的传输,为温室环境监测提供形象直观的实时图像数据。

1 硬件设计

设计的图像传感器节点主要由 4 部分组成: 传感器模块(图像采集模块)、微处理器模块、无线通信模块以及能量供应模块,图像传感器节点结构如图 1 所示。

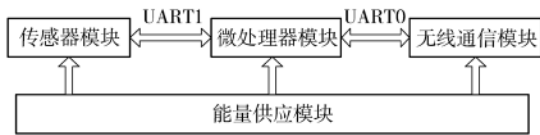


图 1 图像传感器节点结构框图

Fig. 1 Image sensor node structure

无线通信模块采用 Chipcon 公司的 CC2430 无线微控制器,它在单个芯片上整合了 ZigBee 射频(RF)前端、内存和微控制器,将兼容 IEEE802.15.4 标准的 RF 无线电收发机与标准增强型 8051 微控制器以及丰富的外设集结合起来。它的优越性能满足图像传感器节点的数据传输及低功耗要求,因此,选用 CC2430 作为无线通信模块的处理芯片。

图像传感器节点的微控制器采用 Cortex-M3

内核系列的 LPC1766 微处理器,进行采集控制和命令、数据处理。Cortex-M3 内核系列的 LPC1766 微处理器可在高达 100 MHz 的频率下运行,可以满足图像处理的要求;具有在系统编程(ISP)和在应用编程(IAP)功能的 512 KB 片上 Flash 程序存储器,64 KB 片内 RAM,功能强大,适合图像存储和转发;有 4 个 UART,满足图像传输串口通信的需求;该芯片具有丰富的外部接口,容易实现应用扩展。

采用广州市谱泰通信科技有限公司设计生产的一款集图像采集、拍摄控制、数据压缩、串口传输于一体的工业级图像采集处理模块,型号是 PTC08。产品图像输出采用标准 JPEG 格式,可方便地兼容各种图像处理软件;标准的三线式 RS-232 通信接口以及简单的图像传输协议使得摄像头可以方便地实现与计算机以及各种嵌入式系统的连接;预留的红外补光功能接口可以外接红外灯板,在各种光照条件下清晰成像;最大监视距离为 15 m;其内置的高性能数字信号处理芯片实现了对原始图像的高比例压缩,压缩后的数据提供标准的串行接口输出,非常适合与单片机进行通信。

系统使用 USB 接口提供 5 V 电源,通过 LM1117 芯片将电压转换为 3.3 V,为单片机提供工作电压;或者可以使用两节 5 号干电池直接提供工作电压。

节点硬件结构图如图 2 所示。

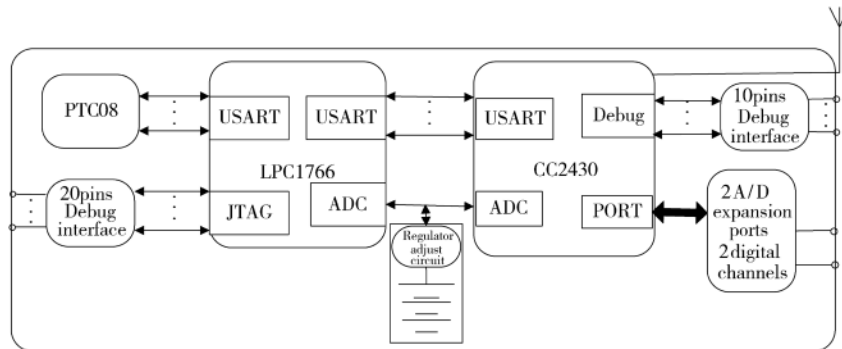


图 2 节点硬件结构图

Fig. 2 Node hardware structure

2 软件设计

图像传感器节点软件主要包括 3 部分: 初始化过程; 图像数据采集指令配置; 图像数据分包处理与发送。图像传感器节点进行图像采集与无线传输过程中各模块工作的交互状况如图 3 所示。初始化过程主要包括硬件平台和 ZigBee 协议栈的初始化,各个节点自动寻找并加入网络,随后 CPU 休眠等待事件; 图像数据采集,当网关节点收到后台管理软件的命令后,触发 CPU 控制摄像头进行相应的动作; 图像数据处理阶段,对摄像头过来的数据按包格式进

行分包处理与发送。

2.1 图像数据采集

摄像头采集到的数据是压缩后的 JPEG 数据流,图像采集节点只需将摄像头采集到的数据包无线发送。图像采集节点通过发送命令帧来控制摄像头进行控制。节点 CPU 通过发送不同的命令来控制摄像头开启、关闭、初始化、采集图像等。基于 PTC08 串口摄像头的图像采集流程如图 4 所示。

2.2 图像数据无线传输

2.2.1 ZigBee 协议栈帧格式

ZigBee 协议栈采用了 TI 公司提供的基于

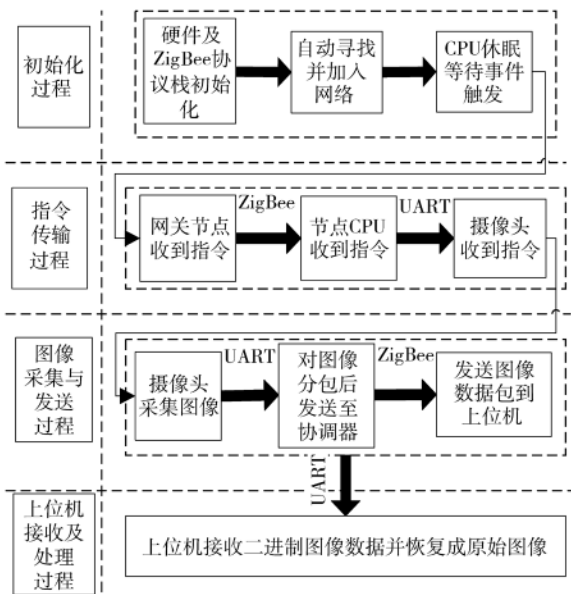


图3 图像采集与无线传输过程框图

Fig. 3 Interaction process of image acquisition and transmission among modules

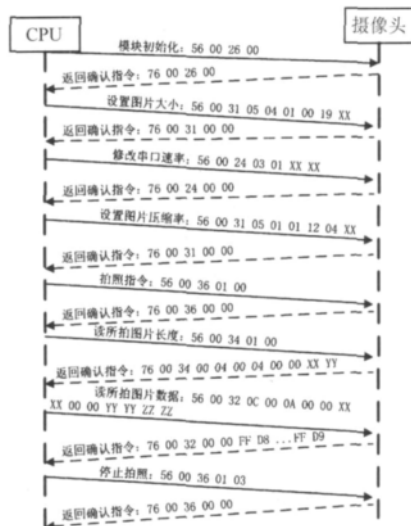


图4 采集图像指令图

Fig. 4 Image acquisition instruction

IEEE802.15.4的 ZigBee 协议栈实现。无线通信模块的数据传输程序工作在 ZigBee 协议栈应用层,通过调用 ZigBee 协议栈下层函数接口对摄像头采集的图像数据进行无线传输。

数据帧由高层(应用层)发起,在 ZigBee 设备之间进行数据传输时,要传输的数据由应用层生成,经过逐层数据处理后发送给 MAC 层,形成 MAC 层服务数据单元(MSDU)。通过添加 MAC 层帧头信息和帧尾,便形成了完整的 MAC 数据帧 MPDU,当 MAC 层协议数据单元(MPDU)被发送到物理层(PHY)时,它便成为了物理层服务数据单元(PSDU)。如果在物理层服务数据单元(PSDU)前面加上一个物理层帧头(PHR)便可构成物理层协

议数据单元(PPDU)。如果再加上一个同步帧头(SHR)则这个数据包便成为最终传播的数据包。

综上所述,协议栈的每一层都有特定的帧结构。图像数据经过 ZigBee 协议栈每一层时都要附加相应的帧头,组成要发送的帧信息。各层帧的结构如图5所示^[9,14]。

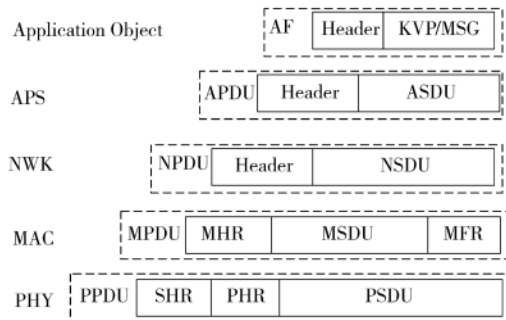


图5 ZigBee 协议栈各层帧结构

Fig. 5 Frame structure among layers of ZigBee protocol stack

2.2.2 图像传输数据包格式设计

由于最终要实现多个节点的组网,因此当后台管理软件接收到来自协调器节点的图像数据时,需要知道数据的来源。因此,根据 MAC 帧负载的大小(最大127个字节)和网络层以及 AF 帧头的长度,将80个字节的图像数据净荷作为一个数据包,并且在每个数据包前面附加一个包头,用于标识图像数据的源节点及图像数据的长度信息。采集的图像为 JPEG 格式, JPEG 文件是分为一个一个的段来存储的,段的长度和多少并不是固定的,只要包含了足够的信息, JPEG 文件就能够被打开。每个图像数据包以 0xFF0xD8 作为边界,表示图像数据包的开始; 0xFF0xD8 后面为16位的 ZigBee 网络层地址,由无线通信模块 ZigBee 应用层数据传输程序通过调用网络层 APINLME_GetShortAddr() 获得; 64 位的 ZigBee MAC 层地址由应用程序调用网络层 API NLME_GetExtAddr() 获取; 序号表示该包数据是来自该节点的第几个数据包,由应用程序维护一个循环计数器产生; 数据长度指数据载荷的长度,以字节为单位,根据 ZigBee 协议帧大小,以及各层的帧头长度,设计其图像数据净荷长度为80字节。图像数据包头如图6所示。

2字节	2字节	8字节	1字节	1字节	0~80字节
0xFF 0xD8	ZigBee 网络层地址	ZigBee MAC 层地址	序号	净荷长度	数据净荷

图6 图像数据包头格式

Fig. 6 Header format of image data

2.3 后台监控软件设计

以 Visual Studio 2005 为开发环境,采用 C#语言

编写后台管理软件。本文采用多线程的方式接收数据包,应用程序实时监控节点数据是否到来,图 7 是后台管理软件的主程序流程图。后台管理软件分为节点管理、数据管理和图表显示 3 个模块,数据库以.xls 格式存储每天数据信息,方便用户查询。节点管理模块主要完成节点参数的配置和参数查询;数据管理主要负责数据的采集和存储;图表显示主要完成数据图形化显示功能。

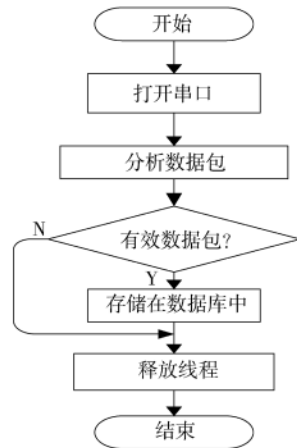


图 7 后台管理软件的主程序流程图

Fig. 7 Main program flow chart of management software

3 测试与应用

3.1 节点通信距离及丢包率测试

传感器节点的通信距离与发射功率密切相关,发射功率越大,通信距离越远,功耗也越大。分别在空旷平整地带和温室测试节点的有效通信距离。使用 2 节 AAA 电池为节点供电,将发射功率分别设置为 -8、-2、4 和 10 dBm,射频频率设定在 2.4 GHz 频段,工作电压为 3.3 V,天线距地面高度为 1.2 m。软件设定周期性发送 2 个字节的数据,并逐渐增加收发距离。测量的节点通信距离如表 1 所示。

表 1 不同发射功率下节点的通信距离

Tab. 1 Communication distances of node under different transmitting powers

发射功率/dBm	-8	-2	4	10
空旷地带通信距离/m	40	60	90	160
温室通信距离/m	29	50	80	130

对节点进行单跳丢包率测试实验,终端节点直接向协调器节点发送 128 字节大小的数据包,使用 Chipcon 公司提供的 SmartRF Studio 软件测试,测得单跳无线传输丢包率如表 2 所示。

结果表明,传输距离越大,丢包率越大。传输距离相同条件下,更换电池后丢包率降低。表明无线

表 2 单跳无线传输丢包率

Tab. 2 Packet loss rate of single-hop wireless transmission

测试环境	节点距离 /m	丢包率 /%	更换电池后丢包率 /%
室内	10	0	0
	20	0.89	0.74
	30	1.16	1.04
温室	10	0.57	0.48
	20	1.05	0.96
	30	1.58	1.44

节点的传输质量受发射功率影响较大。

3.2 节点布设及测试

选择北京市农林科学院的黄瓜种植温室,大小为 30 m × 10 m,采用的 CMOS 摄像头为 30 万像素,设定的采集分辨率为 640 × 480,且摄像头最大监视距离为 15 m,因此以正三角形拓扑布设了 3 个图像传感器节点,节点之间相互距离为 10 m;一个 ZigBee 汇聚节点作为整个结构的网关通过 RS232 接口与 PC 机相连,图像传感器节点与汇聚节点间采用点到点的通信模式;系统每隔 10 min 向网络中的一个节点发送命令采集 1 张图像,JPEG 压缩比率设置为 25 倍,生成的 JPEG 图像大约为 10 kB。测试过程中所有的 RS-232 通信波特率均设置为 38 400,PC 端获取一张 JPEG 格式图像大约为 135 s。实际传输了 50 张图像,其中有 46 张图像传输成功,4 张传输失败,传输的成功率为 92%,失败的主要原因为黄瓜生长中期叶面积较大导致 2.4 GHz 无线信号在黄瓜温室环境中的衰减严重,下一步将研究如何提高传输成功率。PC 端的图像接收界面如图 8 所示。



图 8 图像接收界面

Fig. 8 Management interface of image data

4 结束语

针对温室生产履历信息采集过程中采集图像数据的需求,设计了由片上系统芯片 CC2430 和 Cortex-M3 内核的 LPC1766 微处理器及串口摄像头

作为传感器模块的无线传感器网络图像采集节点, 并进行了测试。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, 该节点实现了图像的采集、传输和显示, 可以满足温室环境监测的要求。

参 考 文 献

- 1 张喜海 张长利 房俊龙 等. 面向精细农业的土壤温度监测传感器节点设计[J]. 农业机械学报, 2009, 40(增刊): 237~240.
Zhang Xihai, Zhang Changli, Fang Junlong, et al. Smart sensor nodes for wireless soil temperature monitoring systems in precision agriculture [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(Supp.): 237~240. (in Chinese)
- 2 王卫星 罗锡文 孙道宗 等. 面向茶园信息传输的无线传感器网络节点设计[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 169~173.
Wang Weixing, Luo Xiwen, Sun Daozong, et al. Design of wireless sensor network node for data transmission in tea plantations [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(5): 169~173. (in Chinese)
- 3 陈松 邵谦明 朱谦. ZigBee 网络中的图像传输[J]. 计算机工程, 2008, 34(11): 129~130, 165.
Chen Song, Shao Qianming, Zhu Qian. Image transmission on ZigBee networks [J]. Computer Engineering, 2008, 34(11): 129~130, 165. (in Chinese)
- 4 熊迎军 沈明霞 孙玉文 等. 农田图像采集与无线传输系统设计[J]. 农业机械学报, 2011, 42(3): 184~187.
Xiong Yingjun, Shen Mingxia, Sun Yuwen, et al. Design on system of acquisition and wireless transmission for farmland image [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(3): 184~187. (in Chinese)
- 5 Antonio-Javier Garcia-Sanchez, Felipe Garcia-Sanchez, Joan Garcia-Haro, et al. A cross-layer solution for enabling real-time video transmission over IEEE 802.15.4 networks [J]. Multimedia Tools and Applications, 2011, 51(3): 1069~1084.
- 6 Antonio-Javier Garcia-Sanchez, Felipe Garcia-Sanchez, Joan Garcia-Haro. Wireless sensor network deployment for integrating video-surveillance and data-monitoring in precision agriculture over distributed crops [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 75(2): 288~303.
- 7 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.
Guo Wenchuan, Cheng Hanjie, Li Ruiming, et al. Greenhouse monitoring system based on wireless sensor networks [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(7): 181~185. (in Chinese)
- 8 孙玉文 沈明霞 张祥甫 等. 基于嵌入式 ZigBee 技术的农田信息服务系统设计[J]. 农业机械学报, 2010, 41(5): 148~151.
Sun Yuwen, Shen Mingxia, Zhang Xiangfu, et al. Design of embedded agricultural intelligence services system based on ZigBee technology [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(5): 148~151. (in Chinese)
- 9 IEEE 802.15.4-2003. Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low-rate wireless personal area networks (LR-WPANS) [S]. 2003.
- 10 Georgiy Pekhterev, Zafer Sahinoglu, Philip Orlik, et al. Image transmission over IEEE 802.15.4 and ZigBee networks [C] // IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 2005, 4: 3539~3542.
- 11 Taubman D. High performance scalable image compression with EBCOT [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(7): 1158~1170.
- 12 Chiaki Yamaguchi, Ryohei Ito. Application of embedded system in field image monitoring [C] // IAALD AFITA WCCA2008 World Conference on Agricultural Information and IT, 2008: 263~266.
- 13 刘继旺 胡艳军 许耀华 等. 一种基于无线传感网的图像传输系统[J]. 通信技术, 2010, 43(5): 176~177.
Liu Jiawang, Hu Yanjun, Xu Yaohua, et al. An image transmission system based on wireless sensor network [J]. Communications Technology, 2010, 43(5): 176~177. (in Chinese)
- 14 瞿雷 刘盛德 胡咸斌. ZigBee 技术及应用 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007: 15~168.