

网络出版时间:2014-04-25 15:48 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.05.020
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.05.020.html>

基于 CC2530 的无线传感器网络网关节点的设计

陈克涛, 张海辉, 张永猛, 张 杰, 吴婷婷

(西北农林科技大学 机械与电子工程学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] **【目的】**针对现有农业环境监测网关设备开发成本高、系统功耗大、操作复杂等不足,设计开发一种用于农业环境监测的无线传感器网络网关节点。**【方法】**网关节点以低功耗芯片 CC2530 为核心处理单元,通过外围状态指示电路、电源管理模块等,完成 ZigBee 网络组网和监测节点数据收集及处理功能;同时通过串口方式连接 SIM900A 模块,采用 GPRS 方式将监测数据上传至中心服务器。最后在农田进行了监测数据误包率与信号接收强度测试,并通过实地部署试验验证了系统的稳定性及可靠性。**【结果】**所设计的网关节点能够实现 4 种农业环境数据的采集,节点间距小于 120 m 时数据传输误包率低于 1%,监测数据在 30 d 农田试验期内连续变化,可长时间上传至服务器,且稳定性、可靠性良好。**【结论】**所设计开发的基于 CC2530 的网关节点具有丢包率低、运行稳定可靠的特点,能够满足多种农田环境因子的监测需求,具有良好的应用前景。

[关键词] 无线传感器网络;农业环境监测;网关节点;CC2530

[中图分类号] S126;TN915.05

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2014)05-0183-06

Design of CC2530 based gateway node for wireless sensor network

CHEN Ke-tao, ZHANG Hai-hui, ZHANG Yong-meng,
ZHANG Jie, WU Ting-ting

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】** Aiming to solve the disadvantages of existing agricultural environment monitor gateways, such as high-cost, high power consumption and complex operation, a wireless sensor network gateway node for environment monitoring was designed. **【Method】** The low-power CC2530 module was used as the core processing unit to build and organize the ZigBee network, and collect and process the data through peripheral status indication circuits and power management module. Meanwhile, it connected with SIM900A module via serial port, and uploaded data to central server through GPRS. Data of RSSI and packet error rate were tested and gateway node was deployed in farmland for verification of stability and reliability. **【Result】** The gateway node achieved the data collection for four agricultural environments with the packet error rate of $<1\%$ within 120 meters. Monitoring data varied and were continuously uploaded to server for 30-day with good stability and reliability. **【Conclusion】** The designed CC2530 based gateway node functioned well with low packet error rate and met monitoring needs of various agricultural environments with good prospect.

Key words: WSN; agricultural environment monitor; gateway node; CC2530

[收稿日期] 2013-11-11

[基金项目] “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAH29B04-00);陕西省科学技术研究发展计划项目(2012KJXX-14)

[作者简介] 陈克涛(1990—),男,甘肃庆阳人,在读硕士,主要从事无线传感器网络技术研究。E-mail: chenketao@nwsuaf.edu.cn

[通信作者] 张海辉(1977—),男,湖南新化人,副教授,硕士生导师,主要从事智能化检测技术研究。

E-mail: zhanghh@nwsuaf.edu.cn

农田环境信息获取是精准农业技术发展的重要分支之一,其要求以低成本、高准确度与高密度的信息技术获取土壤信息、作物信息以及农田微气象信息^[1]。而无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)由部署在监测区域内的大量廉价微型传感器节点组成^[2],具有组网灵活、部署方便、抗毁性强、动态性高、多跳路由和多路径数据传输等特点^[3-4]。目前,国内外众多科研人员已将 WSN 技术应用于节水灌溉、温室调控与农业气象信息监测等方面,并且取得了一定的进展^[5-9]。

在农业无线传感器网络监测的应用中,网关节点负责网络组网、网络间协议转换及网络数据的汇聚、处理与转发等,是无线传感器网络的重要组成部分^[10]。如杨奎武^[11]设计了基于嵌入式处理器 AT91R40008 与实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的 WSN 网关节点,实现了 WSN 数据的高速采集与可靠传送。陈昊等^[12]设计了基于 ARM 的针对野外环境的 WSN 网关节点,具有长期稳定通信与高性能数据管理等特点。张海辉等^[13]设计了基于 WinCE 系统的通用农业信息监控系统架构网关,具有监测区域信息组织管理能力与监测节点的属性动态配置等特点,可实现现场可视化设备和监测数据的综合管理。陆建强等^[14]设计了一种基于 LPC2148 ARM7 与 WCDMA 网络相结合的用于茶园监测的 WSN 网关,结合编写的专用通信协议与路由算法,具有功耗低、生命周期长等优点。刘荣等^[15]设计了基于嵌入式处理器 PXA270 与 Linux 操作系统的 WSN 网关,实现了多个无线传感器网络与处于外网的信息

展示平台的实时通信功能。

以上研究中,网关节点通常基于 ARM 处理器,但由于农业应用环境的特殊性,如设施环境高温高湿、野外设备维护困难、农户信息技术水平较低、现场人机交互需求少等,使其在实际应用中存在农户应用困难、维护与检修难度大及易损坏等不足。而且该类网关节点设计开发成本高,因此有必要探索在部署时可一次性配置、无需动态调控、低成本 WSN 网关节点的实现方法。

本研究针对以上不足,基于 TI 公司具有低功耗设计、集成 MCU 与射频电路的 CC2530 芯片,设计了 WSN 网关节点,旨在实现整个网络监测数据的采集,并通过 GPRS 网络实现与中心服务器的信息交互。同时,为了验证系统的稳定性和可靠性,在大田进行了数据接收信号强度与误包率测试及实地部署测试试验,以期为满足大部分无需现场控制的农业环境自动监测提供支持。

1 系统总体设计

基于 WSN 的农田环境监测系统的终端节点分布在大田的各个区域,农田监测数据通过 ZigBee 网络转发至网关节点,网关节点对数据进行汇聚处理后,通过 GPRS 网络与中心服务器实现远程连接和数据交互。WSN 监测系统总体框架如图 1 所示。其中,网关节点作为 ZigBee 网络与外部网络互连的重要节点,具有 ZigBee 协议组网、数据汇聚、数据格式转换及 GPRS 通信等功能,其整体结构如图 2 所示。

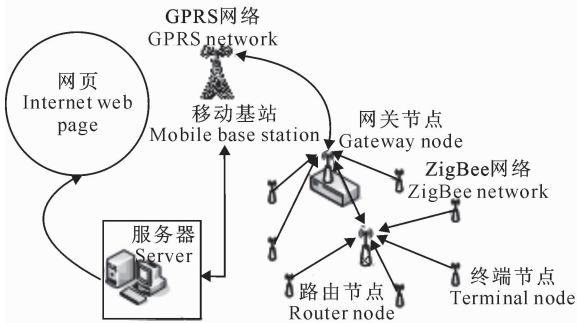


图 1 农田环境 WSN 监测系统的总体框架

Fig.1 Framework of WSN monitoring system in farmland

网关节点由处理器模块、射频处理模块、GPRS 模块、状态指示电路模块以及电源管理模块组成。其中,太阳能电池板、太阳能控制器、蓄电池与电源

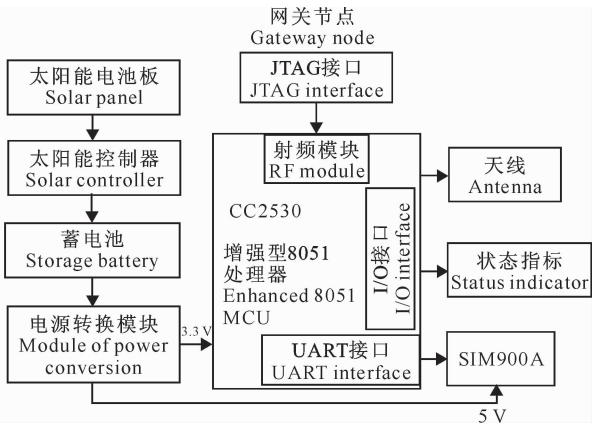


图 2 基于 CC2530 的 WSN 网关节点的结构

转换芯片构成电源管理模块,其输出电压供给处理器模块、射频模块、GPRS 模块与状态指示电路模块;处理器模块通过 I/O 接口控制状态指示电路,通

过串口与 GPRS 模块实现通信。网关节点软件采用 Z-Stack 协议栈实现 ZigBee 网络的组织管理,通过扩展用户应用程序实现数据的采集与转发及 GPRS 网络的连接通信等功能。

2 系统硬件设计

2.1 中央处理器模块

中央处理器主要完成网络组网、传感数据汇聚、协议的转换以及 ZigBee 网络与 GPRS 网络的通信。本研究选用德州仪器的集成芯片 CC2530F256,该芯片集成了增强型 8051 微控制内核与 2.4 GHz 的 RF 收发器,具有 256 kB 的内存。同时结合该公司开发的 ZigBee 协议栈(Z-Stack),为用户提供了一个较好的 ZigBee 应用解决方案,用户可在此协议栈基础上开发特定应用场合下的应用程序。CC2530 芯片硬件集成度高,具有多种唤醒与休眠工作模式,可达到低功耗的应用要求,且运行模式之间的转换时间短,可进一步降低功耗,能够满足农田监测设备的低功耗要求。CC2530 的应用电路如图 3 所示。

择为外设 I/O 接口时,P0_2 引脚与 P0_3 引脚作为 USART0 的 TX 端口和 RX 端口,连接至串口设备 GPRS 模块。P2_1 引脚和 P2_2 引脚为下载调试设备接口,接入仿真器可实现硬件在线调试查错等。

2.2 GPRS 通信模块

为了实现传感数据与控制命令的远程传输与通信,设计选用覆盖面积较广的无线网络 GPRS/GSM 接入方式。无线网络 GPRS/GSM 具有远距离通信的能力,因其按流量计费,因此适用于数据传输量较小、实时性要求相对较低的农业监测系统。

设计选用 SIMCom 公司的 SIM900A 芯片,该芯片采用省电技术设计,在 SLEEP 模式下最低耗流只有 1.0 mA,适合于恶劣或特殊环境下的低功耗要求。芯片内嵌 TCP/IP 协议,扩展的 TCP/IP AT 命令方便用户使用 TCP/IP 协议,可以实现语音、SMS、数据和传真信息的低功耗传输。对 SIM900A 采用标准的 AT 命令写入,实现与中心服务器的 TCP 连接,从而将 ZigBee 网络汇聚的数据经 GPRS 网络发送至服务器。GPRS 通信模块的电路原理如图 4 所示。

GPRS 通信模块硬件电路主要包括特殊供电电源电路、串口电路、SIM 卡槽电路以及天线接口电路。其中 VBAT 引脚为 SIM900A 的供电端,由于信号传输的猝发会导致电压跌落,此时电流损耗峰值会达到 2 A,因此要求可提供 2 A 的电流,同时使用旁路电容 C4、C5 滤除杂波。选用 8 个引脚的 SIM 卡座, SIM 卡插取动作检测 PRESENCE 引脚悬空,采用电阻 R11、R12、R13 分别串在 SIM900A 的 SIM_RST、SIM_CLK、SIM_DATA 引脚来匹配模块与 SIM 卡之间的阻抗。NETLIGHT 信号用来驱动 GPRS 网络状态的 LED 灯,通过灯的闪烁模式,提示 SIM900A 是否工作、是否注册到网络以及通讯是否处于正常状态。

2.3 电源模块

系统的部署环境为作物种类多变、长势参差不齐的农田环境,很难实现电线输电,且此方式成本较高,因此采用太阳能供电。

网关节点的核心芯片 CC2530 的供电电压为 3.3 V, GPRS 模块的供电电压为 5 V, 于是采用 12 V 20 W 单晶硅的太阳能电池板、12 V 10 A 的太阳能控制器和 12 V 7 A · h 的 LC-R127R2 松下蓄电池形成稳定的 12 V 电压输出系统。电源电路采用开关电源芯片 LM2596-5.0 与稳压芯片 AMS1117-3.3 V 转换输出 5 V 与 3.3 V 的供电电压。

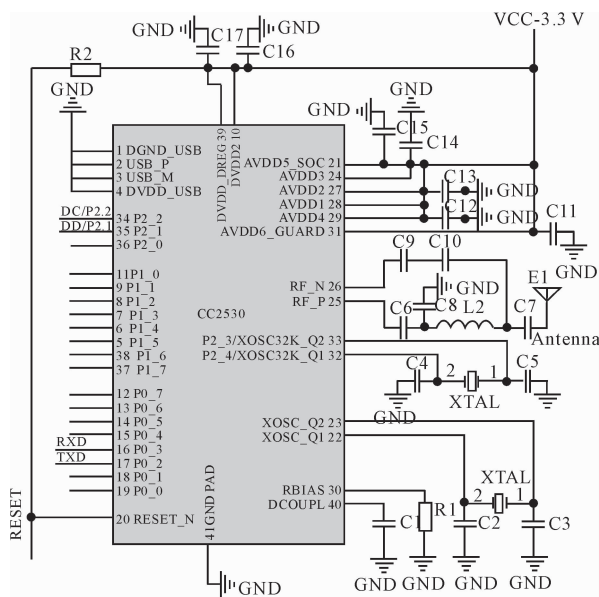


图 3 CC2530 的应用电路

Fig. 3 Application circuit of CC2530 module

在图3中,P0端口与P1端口为功能复用端口,由相应的寄存器控制功能模式选择。当模式选为通用I/O接口时,接入状态指示电路,其中P1_4引脚接入网络状态指示灯,节点上电后,系统程序开始运行,该指示灯闪烁时表示 ZigBee 网络建立成功;P1_0引脚接入数据发送指示灯,从终端节点获取到的传感数据经串口发送至 SIM900A 时,该指示灯长亮 3 s,然后经 RF 收发器发送至移动基站。模式选

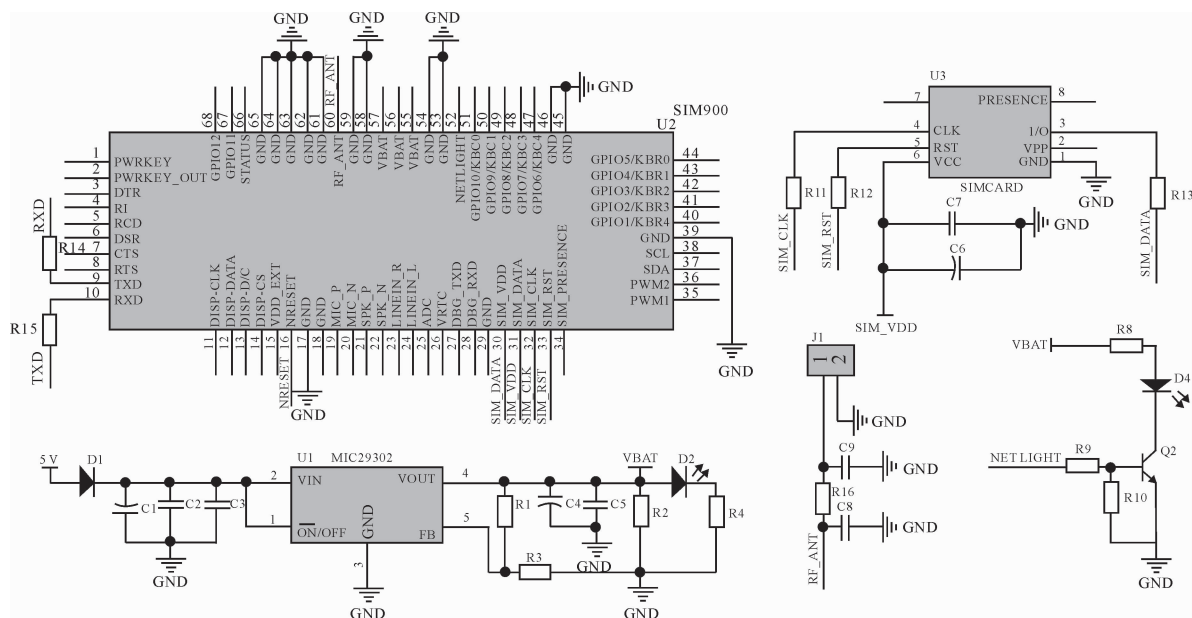


图 4 GPRS 通信模块电路图
Fig. 4 Circuit of GPRS module

3 系统软件设计

网关节点软件开发选用配套的 IAR Embedded Workbench(简称 EW)作为集成开发平台。EW 集成了编译和调试功能,同时支持 C/C++ 编程,是易使用的专业嵌入式应用开发工具。

软件功能主要包括 ZigBee 网络与 GPRS 网络的建立、监测数据的处理、信息的下行采集及用户任务处理等。用户应用程序开发结合了 ZigBee 2007 PRO 协议栈,通过调用 Z-Stack 协议栈提供的 API 接口函数与原语函数实现 ZigBee 网络建立、设备初始化、网络管理、网络参数配置、终端节点的网络地址分配和数据包格式转换等功能。同时通过用户应用程序合理选择主芯片的工作模式,降低系统功耗。GPRS 网络的建立则是 CC2530 通过 USART0 对 SIM900A 发送 AT 命令实现 GPRS 连接。系统软件总体设计流程如图 5 所示。

网关节点上电后,节点进行设备初始化并建立 ZigBee 网络与 GPRS 网络,终端节点上电扫描信道选择最佳路由路径,传感数据经最佳路径发送至网关节点,最后通过接入的 GPRS 网络传送至中心服务器。

网关节点在响应射频模块接收数据时,程序内执行中断处理,并设置标志位。协议栈采用多任务的资源分配机制操作系统 OSAL 循环完成任务事件的标志检测与响应处理,程序中的 `tasksEvents[]` 数组存放任务事件的标志位, `tasksArr[]` 数组存放事件处理函数的地址,通过任务号 `idx` 与 `tasksEv-`

ents[]相对应,保证相应的响应被处理,从而完成数据的采集、转发与上传。

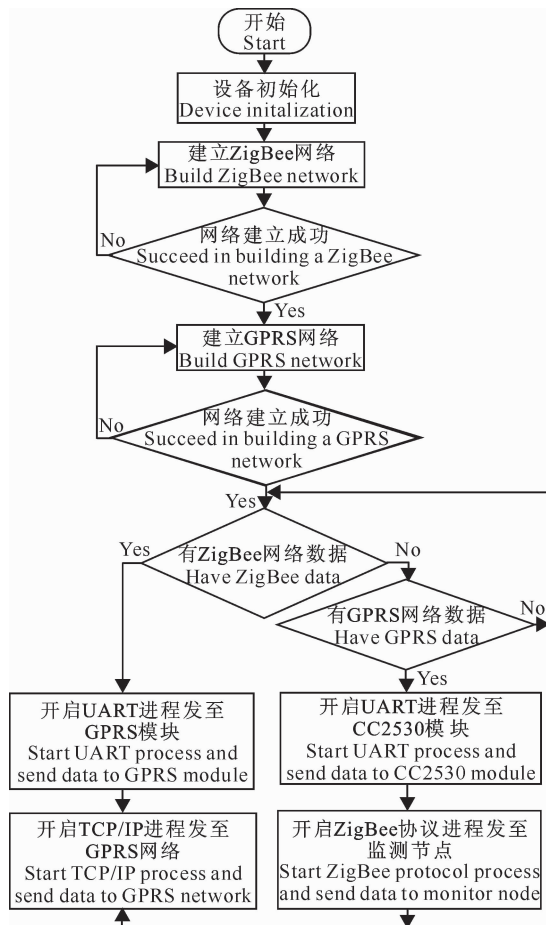


图 5 网关系统软件总体设计流程

Fig.5 Flow chart of the gateway software

4 农田实地部署测试

2013-07-08,在杨凌示范区揉谷乡进行了为期1个月的网关节点稳定性与可靠性测试。本试验测试系统各节点的拓扑关系与图1相同,系统由8个终端节点与1个网关节点组成,节点高度为2 m,终端节点呈网格排列部署,且每个终端节点接有土壤温度、土壤湿度、空气温度与空气CO₂质量分数传感器,监测数据上传时间间隔为10 min。

表1 不同节点距离下网关节点接收的信号强度与误包率
Table 1 RSSI and packet error rates at different node distances

节点距离/m Distance	信号强度/ dBm RSSI	误包率/% Packet error rate	节点距离/m Distance	信号强度/ dBm RSSI	误包率/% Packet error rate	节点距离/m Distance	信号强度/ dBm RSSI	误包率/% Packet error rate
100	-73.6	0.0	120	-74.0	0.0	140	-78.4	4.5
105	-74.8	0.0	125	-77.2	2.5	145	-80.1	3.0
110	-76.3	0.6	130	-78.9	3.0	150	-80.5	3.0
115	-72.9	0.0	135	-78.0	4.0			

由表1可知,节点距离为100~150 m时,接收的信号强度差别不大。而在节点距离大于120 m时,误包率出现且逐渐增大,为保证系统的可靠性与准确性,将网关测试系统的节点距离确定为120 m。

4.2 网关节点的稳定性

由于网关节点不具备数据存储和显示功能,通过访问上层中心服务器分析网站网页上节点上传数

4.1 网关节点接收的信号强度与误包率

为了形成网络的最大覆盖,试验采用 SmartRF Studio 软件对终端节点与网关节点 ZigBee 网络通信进行了测试,测试内容为不同节点距离下接收的信号强度与误包率,从而可以在接收的信号强度和误包率允许条件下得到最合适的节点部署距离。表1为不同节点距离下接收的信号强度与误包率的测试结果。

据的准确性和数据趋势曲线,验证农田环境监测系统整体功能的稳定性。

表2为随机选取的某一时间点5001~5008号监测节点的环境监测数据,表明利用该网关节点可以实时获取各监测节点的空气温度、土壤温度、土壤水分与空气CO₂质量分数等数据,证明各监测节点数据经网关上传正常且有效可靠。

表2 测试期某时刻8个监测节点上传中心服务器的监测数据
Table 2 Data on central server uploaded from 8 monitoring nodes during test period

序号 No.	节点编号 Node number	时间 Time	空气温度/℃ Air temperature	土壤温度/℃ Soil temperature	土壤水分/% Soil moisture	空气CO ₂ 质量分数/(×10 ⁶) Mass fraction of CO ₂
1	5001	2013-07-24 23:57:33	23.67	25.19	29.47	774.00
2	5002	2013-07-24 23:57:18	24.26	25.50	47.35	789.00
3	5003	2013-07-24 23:58:15	24.84	24.50	46.53	760.00
4	5004	2013-07-24 23:58:07	24.66	24.69	36.94	801.00
5	5005	2013-07-24 23:59:36	23.88	25.19	29.37	777.00
6	5006	2013-07-24 23:57:05	23.90	24.94	28.31	794.00
7	5007	2013-07-24 23:56:59	23.72	25.50	30.38	801.00
8	5008	2013-07-24 23:59:22	23.93	25.50	30.71	796.00

图6为随机选取的5004号监测节点连续24 h空气温度监测数据动态曲线,曲线上的各时刻点数

据为每小时6个数据的平均值,曲线连续无断点,证明网关节点可连续汇集并转发环境监测数据。

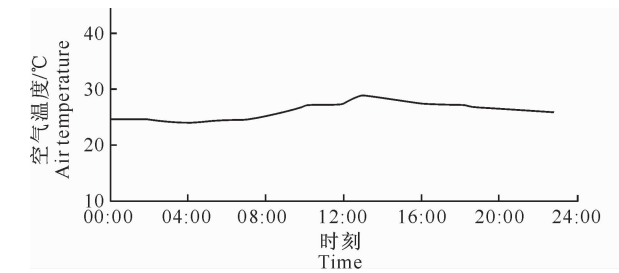


图6 2013-07-24 5004号监测节点24 h空气温度变化曲线
Fig. 6 24-hour air temperature of number 5004 monitoring node in 2013-07-24

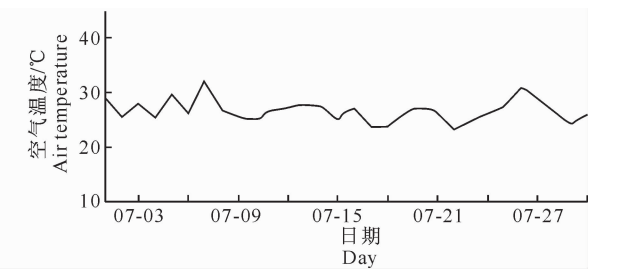


图7 2013-07 5004号监测节点的日空气温度变化曲线
Fig. 7 Daily air temperature of number 5004 monitoring node in July, 2013

图 7 为 5004 号监测节点在 2013 年 7 月逐日空气温度监测数据变化曲线,曲线各点数据为每天监测数据的平均值,曲线连续无断点,证明网关节点可长时间稳定工作。

5 结 论

本研究从硬件与软件两个方面设计了基于 CC2530 的面向农业生产环境监测的 WSN 网关节点,给出了以 CC2530 为核心处理芯片的简易版网关的硬件架构设计与软件通信流程,设计的网关节点实现了 ZigBee 网络的组建与监测数据的收集,并能由 GPRS 网络发送至服务器。农田实地部署测试表明,所设计的网关节点具有丢包率低、运行稳定可靠与成本低等特点。该网关节点适用于地形复杂多变的农田环境,具有良好的发展前景。

【参考文献】

[1] 赵春江,薛绪掌,王 秀,等. 精准农业技术体系的研究进展与展望 [J]. 农业工程学报,2003,19(4):7-12.
Zhao C J, Xue X Z, Wang X, et al. Advance and prospects of precision agriculture technology system [J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(4): 7-12. (in Chinese)

[2] 钱志鸿,王义君. 面向物联网的无线传感器网络综述 [J]. 电子与信息学报,2013,35(1):215-227.
Qian Z H, Wang Y J. Internet of things-oriented wireless sensor networks review [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2013, 35(1): 215-227. (in Chinese)

[3] 乔晓军,张 馨,王 成,等. 无线传感器网络在农业中的应用 [J]. 农业工程学报,2005,21(2):232-234.
Qiao X J, Zhang X, Wang C, et al. Application of the wireless sensor networks in agriculture [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(2): 232-234. (in Chinese)

[4] 马斌强,刘美琪,季宝杰,等. ZigBee 技术在精准农业中的应用 [J]. 江西农业学报,2008,20(10):121-123.
Ma B Q, Liu M Q, Ji B J, et al. Application of ZigBee technology in accurate agriculture [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2008, 20(10): 121-123. (in Chinese)

[5] 肖克辉,肖德琴,罗锡文. 基于无线传感器网络的精细农业智能节水灌溉系统 [J]. 农业工程学报,2010,26(11):170-175.
Xiao K H, Xiao D E, Luo X W. Smart water-saving irrigation system in precision agriculture based on wireless sensor network [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(11): 170-175. (in Chinese)

[6] 王 东,张海辉,冯建合,等. 温室大棚 CO₂ 浓度精准调控系统的设计与实现 [J]. 农机化研究,2012,34(3):114-118.
Wang D, Zhang H H, Feng J H, et al. Design and realization of carbon dioxide precision control system for greenhouse [J]. Transaction of the Journal of Agricultural Mechanization Re-

search, 2012, 34(3): 114-118. (in Chinese)

[7] Sabri N, Aljunid S A, Ahmad R B, et al. Wireless sensor actor network based on fuzzy inference system for greenhouse climate control [J]. Journal of Applied Sciences, 2011, 17(11): 3104-3116.

[8] Chaudhary D D, Nayse S P, Waghmare L M. Application of wireless sensor networks for greenhouse parameter control in precision agriculture [J]. International Journal of Wireless & Mobile Networks, 2011, 1(3): 140-149.

[9] 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 Y H, Liu G, Li L, 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)

[10] 尤著宏,孔令成,李 帅,等. 一种 WSN 网关节点设计与实现 [J]. 自动化与仪表,2008,23(2):16-23.
You Z H, Kong L C, Li S, et al. Design and implementation of WSN sink node [J]. Transactions of the Automation & Instrumentation, 2008, 23(2): 16-23. (in Chinese)

[11] 杨奎武. 嵌入式无线传感器网络网关节点的设计与实现 [J]. 重庆师范大学学报:自然科学版,2007,24(3):54-56.
Yang K W. Design and implementation gateway based on GPRS model in wireless sensor networks [J]. Journal of Chongqing Normal University: Natural Science Edition, 2007, 24(3): 54-56. (in Chinese)

[12] 陈 昊,王 举. 野外环境下基于 ARM 的无线传感器网关系统设计 [J]. 西北大学学报:自然科学版,2012,42(3):355-358.
Chen H, Wang J. A wireless sensor gateway system for the wild environment based on ARM [J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 2012, 42(3): 355-358. (in Chinese)

[13] 张海辉,吴华瑞,朱江涛,等. 通用农业环境信息监控系统 ReGA 网关设计与实现 [J]. 农业工程学报,2012,28(3):135-141.
Zhang H H, Wu H R, Zhu J T, et al. Design and implementation of the ReGA gateway for general agricultural environment information monitoring system [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(3): 135-141. (in Chinese)

[14] 陆建强,王卫星,周泽强,等. 用于茶园监测的无线传感器网络 3G 网关设计 [J]. 广东农业科学,2012,39(14):194-196.
Lu J Q, Wang W X, Zhou Z Q, et al. Design of wireless sensor network 3G gateway based on the tea-plantation monitoring [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2012, 39(14): 194-196. (in Chinese)

[15] 刘 荣,周 杰,杜景林. 基于无线传感器网络的农田监测系统的网关设计 [J]. 湖北农业科学,2013,52(7):1672-1675.
Liu R, Zhou J, Du J L. Farm monitoring system gateway design based on wireless sensor networks [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2013, 52(7): 1672-1675. (in Chinese)