

文章编号:1671-251X(2015)05-0048-04 DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2015.05.012
梁佐胜. 矿用终端节点能耗研究[J]. 工矿自动化, 2015, 41(5): 48-51.

矿用终端节点能耗研究

梁佐胜

(中煤科工集团重庆研究院有限公司, 重庆 400039)

摘要:通过分析 CC2530 的低功耗模式以及基于 ZigBee 协议的 Z-Stack 协议栈的休眠与唤醒机制,设计了一种基于 CC2530 的矿用无线传感器网络终端节点。采用基于福禄克万用表测量的实测方法,测试该终端节点的能耗,得出结论:终端节点与协调器建立连接时消耗的电流最大,在休眠与唤醒模式下电流消耗较小;终端节点的平均工作电流受发射功率影响较小;终端节点的休眠周期直接影响电流消耗,周期越长,则能耗越低。

关键词:矿用终端节点;无线传感器网络;节点能耗;Z-Stack 协议栈

中图分类号:TD67 文献标志码:A 网络出版时间:2015-04-30 08:38

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20150430.0838.012.html>

Research of energy consumption of mine-used terminal node

LIANG Zuosheng

(CCTEG Chongqing Research Institute, Chongqing 400039, China)

Abstract: By analyzing low power consumption mode of CC2530 and sleep or wake-up mechanism of Z-Stack protocol stack based on ZigBee protocol, a terminal node of mine wireless sensor network was designed which was based on CC2530. Energy consumption of the terminal node was tested through a measurement method based on Fluke multimeter. Conclusions are as following. Current consumption is the maximum when the terminal node establishes a connection with a coordinator, but smaller in sleep or wake-up mode. Average operating current of the terminal node is less affected by transmitting power. Sleep cycle of the terminal node directly affects current consumption, and the longer the sleep cycle, the lower the energy consumption.

Key words: mine-used terminal node; wireless sensor network; node energy consumption; Z-Stack protocol stack

0 引言

无线传感器网络具有动态组网、多跳通信、以数据为中心等特点,将其应用于煤矿井下可实现窄带数据传输,解决矿井通信网络在扩展性、覆盖率、灵活性等方面的缺陷。由于矿用无线传感器网络的终端节点采用电池供电,电池的容量一般不大,所以在网络设计过程中应尽量降低节点功耗、最大化网络

的生命周期。节点能耗的准确计算尤为重要,其既是衡量产品设计阶段的性能指标,也是分析产品在井下使用寿命的理论依据。

根据目前对于节点能耗的研究成果,节点能耗的测量方法主要有仿真方法和实验方法^[1]。仿真方法采用模拟软件对节点工作时的能耗进行分析估计,如针对 TinyOS 应用的 bit 级功耗仿真软件 Power TOSSIM^[2],其不足之处是功率模型单一、仿

收稿日期:2014-11-24;修回日期:2015-04-07;责任编辑:李明。

基金项目:工信部 2014 年物联网发展专项资金资助项目(114001114)。

作者简介:梁佐胜(1987—),男,山东临沂人,硕士研究生,研究方向为煤矿监控技术及仪器仪表,E-mail:454040093@qq.com。

真场景构造能力较弱及节点必须同构,因此其应用环境具有局限性。仿真方法需要给定具体参数且分析结果与实际情况存在一定的差距。实验方法则需要采用额外的硬件电路及软件平台对节点能耗进行测量分析,如基于软件探针的实时监测方法^[3],即通过插入能耗测量代码并结合外部硬件电路来计算节点能耗,但该方法对硬件要求较高,并受到软件平台的限制。另一种方法是基于外部电流测量的能耗实测方法,在电源与节点之间串联1只10 Ω 电流取样电阻,在电阻两侧接数字示波器对其电压进行测量,通过公式得出节点能耗。该方法简单易操作,具有可执行性。

本文采用基于福禄克万用表的实测方法,测量矿用无线传感器网络终端节点的平均工作电流,通过增加电流取样电阻,获得终端节点与协调器建立连接时的电流变化波形及终端节点周期性工作的电流变化波形。终端节点硬件采用基于CC2530片上系统的无线模块,软件协议栈采用Z-Stack协议,实际测量终端节点周期性发送数据及休眠时的能耗,并分析发射功率与能耗的关系。

1 终端节点设计

1.1 低功耗模式

CC2530 结合了增强型 8051 内核和 2.4 GHz 的 RF 收发器,是支持 IEEE 802.15.4, ZigBee, RF4CE 应用的片上系统解决方案,具有 PM0, PM1, PM2, PM3 这 4 种不同的工作模式^[4],见表 1,使其能够满足超低功耗应用的要求。4 种工作模式之间转换时间短,进一步保证了低能耗。

表 1 CC2530 工作模式

工作模式	振荡器	稳压器	消耗电流	唤醒方式
PM0	高/低频振荡器	开	RX: 24 mA TX: 29 mA	无
PM1	低频振荡器	开	0.2 mA	复位、外部中断或睡眠定时器
PM2	低频振荡器	关	1 μA	复位、外部中断或睡眠定时器
PM3	无	关	0.4 μA	复位或外部中断

PM0 和 PM2 是 CC2530 常用模式。PM0 为主动/空闲模式。主动模式为全功能模式,空闲模式除 CPU 内核停止运行外,其他与主动模式相同。PM2

模式为定时器休眠模式,睡眠定时器用于设置系统进入和退出低功耗睡眠模式之间的周期,使 CC2530 既能进入低功耗模式,又能自动唤醒,所以本文采用 PM2 作为系统工作模式。

1.2 节点硬件

CC2530 是一款集成的片上系统,只需简单的外围电路即可正常工作,其外围电路主要包含稳压电路、复位电路、振荡电路和巴伦匹配电路。

稳压电路采用 LM1117-3.3V 电压转换芯片,将 5 V 电压转换为 3.3 V 工作电压,外接滤波电容和电源指示灯^[5],如图 1 所示。

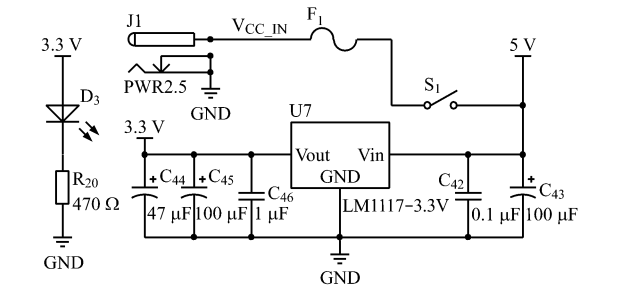


图 1 稳压电路

振荡电路采用 32 MHz 高频晶振和 32.768 kHz 低频晶振,外接匹配电容,如图 2 所示。

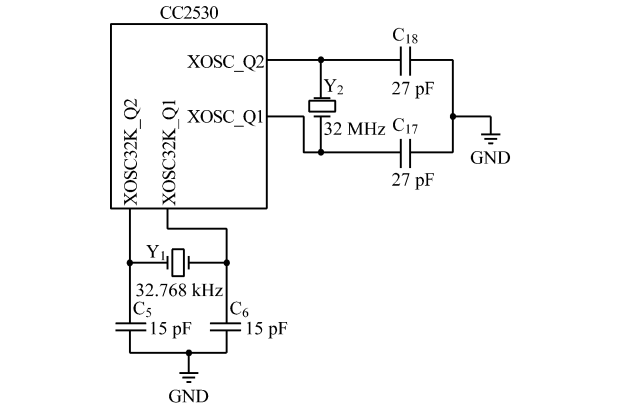


图 2 振荡电路

CC2530 集成了射频接口,可外接天线。终端节点采用 SMA 接口的杆状天线,天线阻抗匹配采用巴伦匹配电路,如图 3 所示。

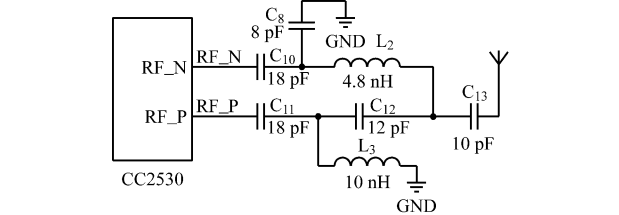


图 3 巴伦匹配电路

1.3 节点软件

终端节点软件采用 Z-Stack-CC2530-2.3.0-1.4.0 协议栈版本。根据协议栈定义,网络中存在 Coordinator(协调器)、Router(路由器)和 End-Device(终端设备)3 种逻辑设备类型。终端节点没有维护网络结构的职责,只负责数据传输,可以休眠或唤醒。本文主要测试终端节点处于主动模式和休眠模式时的电流消耗。

Z-Stack 协议栈中涉及电源管理的文件有 OSAL_PwrMgr.h(OSAL 电源管理的 API 头文件)、OSAL_PwrMgr.C(OSAL 电源管理的 API C 文件)和 hal_sleep.c(底层的电源管理文件)。在 hal_sleep.c 中定义了 HAL_SLEEP_OFF(PM0), HAL_SLEEP_TIMER(PM2)和 HAL_SLEEP_DEEP(PM3)工作模式。HAL_SLEEP_OFF 为正常工作模式,其余为休眠模式,通过 osal_pwrmgr_powerconserve(void)函数可设置 CC2530 进入休眠模式。

终端节点在进入休眠模式之前必须满足以下条件:① 编译选项包含 POWER_SAVING,即允许休眠;② ZigBee 设备对象描述符指出“空闲时接收关闭”,设置 RFD_RCVC_ALWAYS_ON 为 FALSE;③ Z-Stack 所有任务允许节能;④ Z-Stack 中没有就绪任务;⑤ MAC 中没有预定活动。

CC2530 睡眠定时器是 32.768 kHz 晶振驱动的 24 位硬件定时器(SLEEP_TIMER),具有中断和 DMA(Direct Memory Access,直接内存存取)触发功能,有 1 个 24 位计数器和 1 个 24 位比较器,最长休眠时间为 510 s。OSAL(操作系统抽象层)使用 16 位定时器,时钟周期为 1 ms,最大定时周期为 65 s。终端节点依据 Z-Stack 协议栈的休眠机制,设置 POWER_SAVEING 编译选项,使终端节点周期性休眠、唤醒,通过修改发送函数的发送周期,测量休眠周期长短与能耗的关系;通过修改寄存器 TXPOWER 的值,实现发射功率的配置,并测量不同发射功率的电流消耗情况。

2 终端节点能耗测试

2.1 终端节点的能耗变化规律

测试终端节点与协调器建立连接及周期性发送数据的能耗变化规律,需得出终端节点的电流变化波形。将 10 Ω 电阻(精度为 1%)串联到电源输入端,使用示波器测量电阻两端的电压波形,根据欧姆

定律间接得到电流变化波形。终端节点与协调器建立连接时电流消耗达到最大值,且持续时间较长,如图 4 所示。建立连接后,终端节点将周期性地发送数据、休眠和唤醒,发送周期为 1 s,测量结果如图 5 所示。

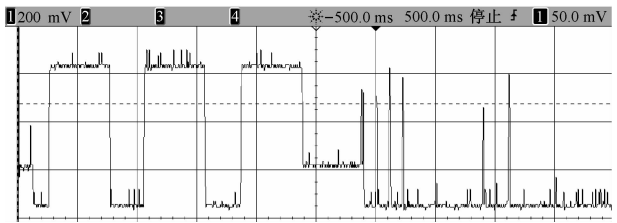


图 4 终端节点与协调器建立连接时的电压波形

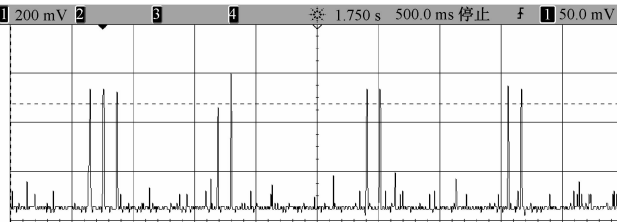


图 5 终端节点周期性发送数据时的电压波形(周期为 1 s)

2.2 发射功率与能耗的关系

通过修改 TXPOWER 寄存器的值可以修改 CC2530 片上系统的发射功率,其典型发射功率最小值为 -22 dB·m,最大值为 4.5 dB·m。选取 6 个呈梯度的发射功率,测量其建立连接时的最大电流及正常工作时的平均电流。在相同条件下,实际测试结果见表 2。

表 2 不同发射功率下电流实际测试结果

TXPOWER 寄存器 设置	发射 功率/ (dB·m)	连接协调器 时的最大 电流/mA	正常工作 时的最大 电流/mA	正常工作 时的平均 电流/mA
0x05	-22.0	28.840 6	4.864 4	0.187 2
0x35	-16.0	27.866 2	4.667 6	0.166 6
0x65	-10.0	28.821 4	4.578 4	0.165 8
0x95	-4.0	27.853 0	4.427 6	0.162 4
0xC5	-0.5	28.846 4	4.770 6	0.176 0
0xF5	4.5	27.865 2	4.554 4	0.160 8

2.3 平均能耗

根据 Z-Stack 协议栈,修改数据发送函数的发送周期,发送完成后终端节点进入休眠模式,由定时器定时唤醒。将发送周期分别设置为 1,2,4,8,16 s,在相同时间内,测试终端节点正常工作时 1 h 内的平均电流,结果见表 3。

表3 不同发送周期下平均电流实际测试结果

发射功率/ (dB·m)	数据发送 周期/s	平均电流/ mA
4.5	1	0.482
4.5	2	0.315
4.5	4	0.237
4.5	8	0.231
4.5	16	0.205

3 结语

通过设计矿用终端节点的硬件测试平台以及分析软件协议栈,测试了终端节点的能耗参数,得出结论:终端节点与协调器建立连接时消耗的电流最大,约为29 mA,建立连接后终端节点进入周期性的休眠与唤醒状态,此时电流消耗较小;节点发射功率与电流消耗并不呈正比关系,平均工作电流受发射功

率影响较小;休眠周期直接影响电流消耗,周期延长时,能耗随之降低,但幅值逐渐减小。

参考文献:

[1] 牛星,李捷,周新运,等. 无线传感器网络节点能耗测量及分析[J]. 计算机科学,2012,39(2):84-87.

[2] 熊书明,王良民,王新胜,等. Power TOSSIM 无线传感网仿真器剖析[J]. 系统仿真学报,2010,22(1):75-78.

[3] ZHANG Fan, LI Wenfeng, SONG Wei. Real-time energy consumption monitoring for wireless sensor nodes[J]. Computer Engineering and Science, 2010, 32(11):47-51.

[4] Texas Instruments. A true system-on-chip solution for 2.4 GHz IEEE 802.15.4 and ZigBee applications [EB/OL]. [2014-11-01]. <http://www.ti.com/cn/lit/ds/symlink/cc2530.pdf>.

[5] 张峰,宋泊明,徐溪,等. 矿用起重机能耗感知系统 Sink 节点设计[J]. 工矿自动化,2014,40(2):19-22.