

# 一种低功耗的无线传感器网络节点设计方法

张永梅, 杨冲, 马礼, 王凯峰

(北方工业大学信息工程学院, 北京 100144)

**摘要:** 提出一种低功耗的无线传感器网络节点设计方法, 采用 CC2530 芯片, 基于 ZigBee 技术实现无线传感器网络的自组和监测数据的自动汇聚。给出节点设计的整体框图以及硬件设计模块与软件设计流程。以温度采集系统为对象进行实验, 结果证明, 以该方法设计的节点具有低功耗、高精度的特点。

**关键词:** 无线传感器网络; CC2530 芯片; ZigBee 技术; 节点能耗

## Design Method of Wireless Sensor Network Node with Low Power Consumption

ZHANG Yong-mei, YANG Chong, MA Li, WANG Kai-feng

(Department of Information Engineering, North China University of Technology, Beijing 100144, China)

**【Abstract】** This paper proposes a design of low power consumption Wireless Sensor Network(WSN) node. It uses low power consumption energy-saving chip CC2530, and the self-organizing of WSN and the automatic collection of monitoring data are realized based on ZigBee technique. It gives the whole block diagram, the hardware design module and software design process. Taking the temperature acquisition system as an example, the experimental results prove the nodes designed by this method have low power consumption and high accuracy.

**【Key words】** Wireless Sensor Network(WSN); CC2530 chip; ZigBee technology; node energy consumption

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.03.024

### 1 概述

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是集信息采集、信息传输、信息处理于一体的综合智能信息系统, 具有广阔的应用前景<sup>[1]</sup>。目前, 对于 WSN 的研究可分为底层硬件平台的设计和上层网络应用协议的开发两大部分。硬件平台中最重要的部分就是传感器节点的设计, 它是搭建 WSN 监测系统的基础。同时, WSN 使用的各种算法协议, 包括数据融合、数据路由、目标定位、跟踪等, 都受制于传感器节点的硬件性能。因此, 对于传感器节点的研究可以推动整个无线传感器网络技术的向前发展。本文设计一种基于 CC2530 微处理器和 ZigBee 技术的低功耗传感器节点, 并根据所设计的硬件平台移植协议栈, 以满足复杂环境和复杂监测任务对节点性能的要求。

### 2 节点整体设计

WSN 采用拓扑结构, 节点大多随机分布在具有复杂地貌的地区或运行在人类无法接近的恶劣甚至危险的环境中, 这决定了传感器节点的能源无法替代和不可再生。一些传感器节点会由于能源耗尽、物理损坏或环境的阻碍而失效, 失效的传感器节点不能影响整个网络的运行。这是无线传感器网络的可靠性与容错问题<sup>[2]</sup>, 容错度  $R_k(t)$  可以用时间段  $(0, t)$  内部出现故障的可能性来表示:

$$R_k(t) = e^{-\lambda_k t}$$

其中,  $\lambda_k$  是节点  $k$  在时间  $t$  内的差错率。根据 WSN 的特点, 节点设计主要考虑以下 5 点:

(1)微型化: 应用中的传感器节点要高度集成化, 保证对目标系统的特性不会造成影响。

(2)低功耗: 因为网络往往部署在无人值守的地方, 节点

使用电池供电, 如何降低功耗是应用的首要问题。

(3)低成本: 网络中部署的节点数量巨大, 因此, 每个节点的成本不能太高。

(4)高强壮性: 传感器网络分布在很广的地域, 维护十分困难, 因此, 要求节点具有一定的抗毁性。

(5)可扩展性高: 传感器节点可根据任务的不同, 搭载多种传感器, 因此, 节点预留的扩展接口必须能满足要求<sup>[3-4]</sup>。

节点的设计包括硬件和软件 2 个方面, 节点设计的整体框图如图 1 所示。

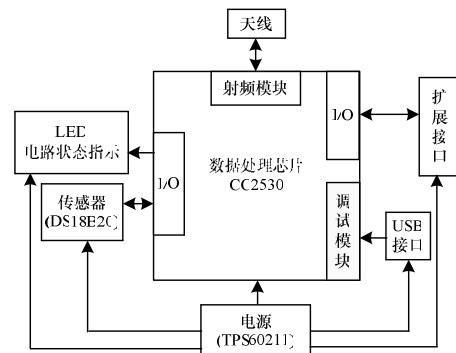


图 1 节点设计的整体框图

核心处理芯片采用 TI 新一代低功耗 SoC 芯片 CC2530,

**基金项目:** 北京市属高等学校人才强教计划基金资助项目(PHR2010 07121)

**作者简介:** 张永梅(1967—), 女, 教授、博士、CCF 高级会员, 主研方向: 无线传感器网络, 图像处理, 人工智能; 杨冲, 硕士研究生; 马礼, 教授、博士; 王凯峰, 硕士研究生

**收稿日期:** 2011-07-04 **E-mail:** yangchong528m@163.com

比起第 1 代 CC2430, CC2530 提供了改进的 RF 性能, 多达 256 KB 的闪存以支持更大的应用, 强大的地址识别和数据包处理引擎, 能够很好地匹配 RF 前端, 封装更小, 且支持 ZigBee PRO 和 ZigBee RF4CE。电源设计采用 TI 最新的低功耗电源管理芯片 TPS60211, 其工作状态可以编程控制, 而且还具有电源自检测报警功能, 这样就能直接从电源层面控制节点的能耗, 从根本上节能。节点的数据采集采用温度传感器 DS18B20, 其采用的是单总线工作模式, 节约了系统的 I/O。CC2530 集成了调试模块, 本文通过 USB 进行节点程序调试和下载。天线设计成印制单极子天线。

节点采用 ZigBee 协议设计无线自组网, 节点采用层次路由算法, 通过多跳将数据发送给汇聚(Sink)节点, 最终 Sink 节点通过 USB 或串口、GPRS 将数据传送到服务器。节点根据功能可分 Sink 节点和终端节点。终端节点功能为: 采集数据, 建立路由, 发送自身数据, 转发下层节点的数据。Sink 节点的功能为: 建立网络, 进行广播, 收集数据, 上传给服务器。终端节点可以工作在睡眠状态或者正常激活状态, 一般用电池供电。Sink 节点一直处于正常激活状态, 一般用主电源供电。这 2 种节点仅在 ZigBee 协议层面上有区别, 硬件上没有区别。

### 3 节点硬件设计

硬件设计主要包括数据处理模块、电源模块、数据采集模块、调试模块、扩展接口等 5 个模块。

#### 3.1 数据处理模块设计

数据处理模块是以 CC2530 为核心, CC2530 的 RF 可编程输出功率高达 4.5 dBm, 具有优秀的接收器灵敏度和健壮抗干扰性、4 种供电模式、多种闪存尺寸, 及一套广泛的外设集, 包括 2 个 USART、12 位 ADC 和 21 个通用 GPIO。通过优秀的 RF 性能和业界标准增强 8051MCU 内核, 支持一般的低功耗无线通信。CC2530 的低功耗特性主要表现为:

(1)多种工作模式, CC2530 具有 4 种工作模式。PM0 模式是完全功能模式, PM1、PM2、PM3 是 3 种睡眠模式。在不同的应用中, 可采用适当的工作模式降低节点的能耗。

(2)CPU 的工作可以状态可编程, 当 CC2530 处于 PM0 模式时, 可将 SLEEP.MODE 位置 0 和 PCON.IDLE 位置 1, CPU 将停止工作直到产生中断。CPU 停止工作时不影响射频电路的正常工作。因此, 可以在射频电路接受和发送数据时, 停止 CPU 以达到降低节点能耗的目的。

(3)射频输出功率可编程, 只要适时的降低射频输出功率就可以降低发送数据的能耗。

(4)可以多使用内部 RC 晶振, 当不使用射频电路时, 可以使用内部 RC 晶振来代替外部 32 MHz 晶振, 以达到降低节点能耗的目的。

(5)模拟电路可控功能, 当不使用射频电路发送或接受数据时, CC2530 芯片的模拟电路可以部分关闭。重新打开后会产生中断, 通知 CPU 射频电路可以使用, 以此可以降低节点能耗<sup>[5]</sup>。其主要任务是: 1)完成节点数据的采集、存储、无线传输等; 2)通过路由算法自组网, 完成节点间通信; 3)实现终端节点的节能管理, 如休眠与唤醒; 4)完成程序的调试下载。

该模块主要包括微处理器电路、调试电路、扩展接口、单极天线电路。通过巴伦匹配优化天线的性能, 使节点在空旷无障碍地域的最远传输距离可达 200 m。晶振 XTAL1 为系统提供时钟, 满足数据采集、通信组网需要。晶振 XTAL2

为终端节点休眠提供时钟。仿真器通过 USB 接口连接 CC2530 内部调试模块进行调试。扩展接口根据具体需要可以挂载相应多种传感器, 进行数据采集。

#### 3.2 数据采集模块设计

该模块主要完成对环境温度数据的采集, 采用的温度传感器是 DALLAS 公司的可组网数字温度传感器 DS18B20, 独特的单线接口方式使 DS18B20 在与微处理器连接时仅需一条口线, 即可实现微处理器与 DS18B20 的双向通信, 节约 I/O 口, 测温范围为  $-55^{\circ}\text{C}\sim 125^{\circ}\text{C}$ , 固有测温分辨率为  $0.0625^{\circ}\text{C}$ , 工作电源为 3 V~5 V 直流电, 测量结果以 9 位~12 位数字量方式串行传送。在使用中无需任何外围元件, 因此, 可简化节点的硬件设计, 减小节点体积, 提高可靠性, 降低能耗。

#### 3.3 电源模块设计

节点的核心控制芯片 CC2530 工作电压为 2 V~3.6 V, 推荐工作电压 3.3 V, 温度传感器的工作电压为 3 V~5 V。采用 2 节干电池供电, 电源管理芯片是 TI 最新的低功耗 3.3 V 稳压芯片 TPS60211, 它的输入电压范围为 1.8 V~3.6 V。因此, 采用 2 节干电池供电完全满足需要, 提供 2 种工作模式: 睡眠模式, 正常模式。2 种工作模式可以通过编程控制。而且具有电压自检测报警功能<sup>[6]</sup>。

### 4 节点软件设计

软件设计使用 IAR 软件平台, 包括主程序设计和应用程序设计, 即 ZigBee 协议程序和传感器数据采集驱动程序。

#### 4.1 ZigBee 协议主程序

在确定功能的基础上, 采用 IAR 软件平台对 Sink 节点、终端节点分别进行条件编译, 从而使节点具有不同的功能。本文自定义了 6 种通信类型格式, 即重初始化帧、组建路由帧、路由维护帧、数据帧、回复帧和新节点加入网络请求帧, 并为每一种帧类型定义了帧标志位。Sink 节点的通信流程图 2 所示。

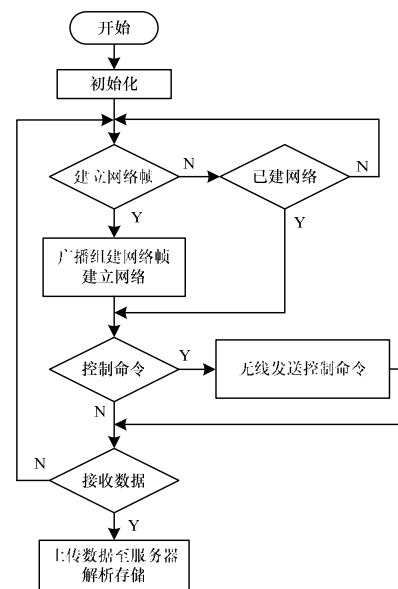


图 2 Sink 节点的通信流程

Sink 节点扫描信道内的有效帧数据, 等待网络加入请求帧。一旦收到该请求, Sink 节点广播组建路由帧建立该信道内的网络, 并将接收到的路由表信息通过串口同步发送到服务器保存。终端节点加入网络后, 相应的已组网标记被置为高电平, 节点开始进行数据定时发送和路由维护, 在节点通

信中, 根据不同的帧类型封装相应的报文, 再调用 MAC 层的封装函数组织 MAC 数据帧, 其中, 数据帧的源地址为本设备地址, 而目的地址是通过相应的路由算法计算出来的下一跳节点的地址信息。帧数据组织好后, 将该数据帧发送给下一跳节点, 由下一跳节点来负责接收、转发直至 Sink 节点。为了降低能耗, 同一层次的中断节点间歇进行休眠, 时间间隔为 5 min<sup>[7-8]</sup>。

#### 4.2 传感器数据采集程序设计

温度传感器 DS18B20 采用的是单总线工作模式, 既可传输时钟, 又能传输数据, 而且数据传输是双向的, 这种单总线技术具有线路简单, 硬件开销少。DS18B20 数据采集过程为初始化、读/写 ROM、读/写 RAM。

### 5 实验结果与分析

#### 5.1 系统拓扑

在实验楼层分别放置设计的传感器节点, Sink 节点通过串口连接实验室 PC 机(服务器), 1号、4号、5号、7号节点散开放置在实验室周围固定位置, 2号、3号、6号节点放置下一楼层固定位置, 3号放的最远。测试 4 个多月, 系统运行良好。某时刻节点传回的系统温度拓扑结构截图见图 3。

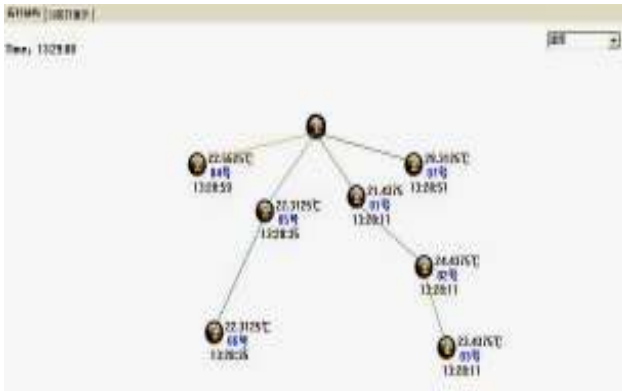


图3 某时刻系统温度拓扑结构截图

#### 5.2 节点能耗测试

节点能耗测试条件为: 工作电压为 3.3 V, 无线射频频率为 2.454 GHz, 射频输出功率为 1 dBm。CC2530 节点不同工作状态下的能耗如表 1 所示。

表1 CC2530 系统节点在不同工作状态下的能耗

工作状态	节点能耗 /mA	条件
MCU 处于激活状态	3.515	使用内部时钟, 所有外设不工作
MCU+射频接收	25.846	时钟 32 MHz, 射频接收工作方式
MCU+射频发送	29.015	时钟 32 MHz, 射频发送工作方式, 功率为 1 dBm
休眠	0.109	保持 RAM 数据, 可以中断唤醒

为了比较本文设计的节点与其他典型的传感器节点的能耗情况, 表 2 列出了目前典型的无线传感器网络节点的能耗情况。

表2 典型传感器节点能耗比较

系统	电压/V	节点能耗/mA			
		MCU+Active	MCU Idle	MCU+Radio RX	MCU+Radio TX
Telos/Tmote	1.8	1.8	0.054	21.8	19.5
Mica2	2.7	8.0	<2	16.0	33.0
MicaZ	2.7	8.0	<2	27.7	22.0

节点能耗对比如图 4 所示, 本文设计的传感器节点能耗和 Mica 系统节点差不多, 但是比 Telos/Tmote 要差一些。从实验结果可知, 传感器节点的能量消耗主要集中在无线通信

模块上, 由于 CC2530 的射频输出功率是可编程控制的, 减少节点的输出功率就可以降低系统能耗, 因此要尽可能地降低射频输出功率, 降低节点之间的数据传输次数, 压缩传输数据包的大小, 这对降低单个节点的能耗, 以及对延长整个无线传感器网络的寿命都有非常重要的意义。

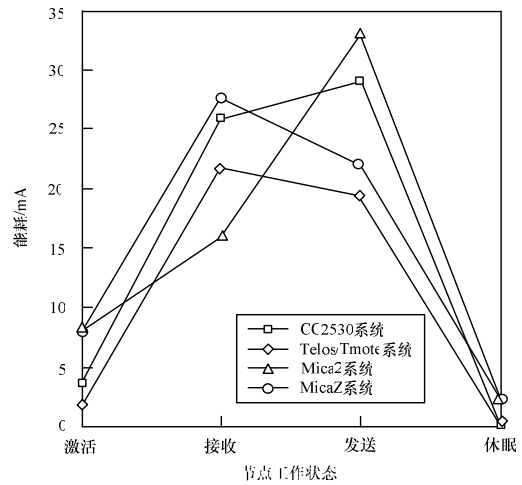


图4 节点能耗对比

经实验验证, 本文设计的节点具有以下特点:

- (1) 功耗低、稳定性好、精度高, 电池供电可正常工作 120 天以上, 节点本身无故障出现。
- (2) 在传输距离之内可自由移动, 任意放置检测位置, 实现任何时空尺度的检测。
- (3) 可实现快速自组网和多跳路由。
- (4) 传输距离远, 2 个节点之间在空旷地域的最远传输距离可达 200 m。
- (5) 扩展性强, 可根据具体需求挂载不同传感器。

### 6 结束语

本文基于 ZigBee 协议设计了一种低功耗的无线传感器网络节点, 采用 TI 新一代低功耗 SoC 芯片 CC2530 作为数据处理芯片, 功耗较低。节点的外围电路简单, 工作稳定可靠。本文设计的节点具有可扩展性, 可用在温室、果园、农田等领域, 有一定的实际应用价值。

#### 参考文献

- [1] 孙利民, 李建中, 陈渝, 等. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [2] Hoblos G, Staroswiecki M, Aitouche A. Optimal Design of Fault Tolerant Sensor Networks[C]//Proc. of IEEE International Conf. on Control Applications. Anchorage, USA: IEEE Press, 2000.
- [3] 李长庚, 刘威鹏, 胡纯意, 等. 基于 ARM 和 ZigBee 的 WSN 节点设计与实现[J]. 计算机工程, 2010, 36(17): 135-137.
- [4] 周强, 杜毓青, 熊华钢. 无线传感器网络可靠性建模研究[J]. 兵工学报, 2008, 29(9): 1063-1068.
- [5] Texas Instruments Inc.. CC2530 System-on-Chip User's Manual[Z]. 2009.
- [6] Texas Instruments Inc.. TPS60211 User's Manual[Z]. 2009.
- [7] ZigBee Standards Organization. ZigBee075098-2007 ZigBee Specification[S]. 2007
- [8] 董婷. 传感器网络中基于层次分析法的自适应路由算法[J]. 计算机工程, 2007, 33(18): 139-142.