

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.09.017

## 基于 ZigBee 芯片的 PMU 无线扩展接口设计

杨武<sup>1,2</sup>, 郑宇锋<sup>3</sup>

(1. 海军工程大学 电气与信息工程学院, 湖北 武汉 430033; 2. 中国人民解放军 92823 部队 二中队, 海南 三亚 572021; 3. 中国人民解放军 91715 部队 数据分析中心, 广东 广州 510450)

**摘要:** 引入无线个域网 ZigBee 技术, 对船舶监控系统中相量测量单元 PMU 的输出数据在有限空间内进行无线传输, 提出了通过 RS-232 和 SSI 这 2 种基于 ZigBee 芯片 CC2430 的 PMU 无线接口扩展方案, 并进行了软硬件设计。最后, 通过串口调试工具对基于 RS-232 无线扩展的方案设计进行了测试, 实验结果表明, 该设计方案能够实现 PMU 单元与监控终端的可靠无线连接, 增强了 PMU 装置的通信能力, 从而使得基于时钟同步技术的 PMU 单元在实现实时同步采集的同时具有接口多样化的新功能, 使 PMU 的应用范围更加广泛。

**关键词:** 船舶监控; ZigBee; 无线扩展接口; PMU; CC2430**中图分类号:** TP393.06 **文献标识码:** A

## Design of Wireless Extended Interface of PMU Based on ZigBee Chips

Yang Wu<sup>1,2</sup>, Zheng Yufeng<sup>3</sup>(1. College of Electrical & Information Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China;  
2. No. 2 Team, No. 92823 Unit of PLA, Sanya 572021, China;  
3. Data Analysis Center, No. 91715 Unit of PLA, Guangzhou 510450, China)

**Abstract:** Adopt ZigBee to transport the output data of PMUs (Phasor Measurement Units) in finite regions in the ship supervising system. two wireless extended schemes of interfaces of PMU, RS-232 and SSI, were proposed based on CC2430, one kind of Zigbee chips, and their software and hardware were designed, too. Finally, the first scheme was tested by a serial port debug tool. The results showed the schemes could achieve reliable wireless link between PMUs and supervising ends, enhance the communication capability of PMUs. Thereby, the PMUs working with clock synchronization, which achieves synchronized collections, could take on diverse functions and new features.

**Keywords:** ship supervising; ZigBee; wireless extended interface; PMU; CC2430

### 0 引言

目前, 在船舶电网监控系统上使用的通信接口主要有 CAN 网络接口和以太网网络接口<sup>[1]</sup>。CAN 总线以牺牲位速率为前提的传输方式, 必然降低网络的数据吞吐量<sup>[2]</sup>。而且, 这种结构的网络控制系统占空比高、网络负载率低, 在实际应用过程中会由于介质的物理属性而存在难于维护的问题。将无线技术引入到船舶监控系统当中, 已经成为船舶监控技术发展的一个必然要求<sup>[3-5]</sup>。

对船舶电网电压、电流、功率等电量进行相角测量的相量测量单元 PMU 装置来说, 其无线接口扩展作为 ZigBee 技术应用的一个实例, 所带来的不仅是 PMU 装置接口多样化、功能通用性的拓展, 还可以解决有线传输无法解决的一些现实难题, 譬如, 船舶舱室的有限空间、设备布置密集带来的布线困难, 以及某些舱室的高温、高湿、高振动环境等不适合有线测量装置安装与应用的场合等。因此,

在采用 ZigBee 器件及其开发系统的基础上, 对 PMU 无线扩展的软硬件进行设计。

### 1 有限区域内无线网络在船舶控制中的应用

在船舶设备监控系统中, 引入无线技术对设备工作状态进行监测与控制最早始于美国 BP 公司对一艘油船的原动机和电机进行状态信息的采集<sup>[6]</sup>。当前, 为了实现船舶电网的自动化监控管理, 广泛采用了 CAN 网络技术。CAN 网络一般应用于层次化网络的底层网络中, 海军工程大学能量管理系统项目采用 CAN 和以太网相结合的方式实现对船舶电站状态信息的集中采集, 以太网作为上层网络实现与 GIS 显示终端的连接并完成数据的上传任务。该项目的一个子项目“IPSwm2008”方案采用无线 ZigBee 技术构建无线测量系统的底层网络, 仍然使用以太网构建上层网络, 然后就采集数据的精确度与有线网络作了对比分析论证。这种层次化网络的结构如图 1。

收稿日期: 2010-04-14; 修回日期: 2010-05-04

基金项目: 国防预研基金资助项目“大型船舶综合电力系统监测预警网络化技术基础研究”(50421703); 国防预研资助项目“大型船舶电力系统信息同步采集与地理信息系统技术研究(50677069)”

作者简介: 杨武(1980-), 男, 湖北人, 博士研究生, 工程师, 从事网络化测控研究。

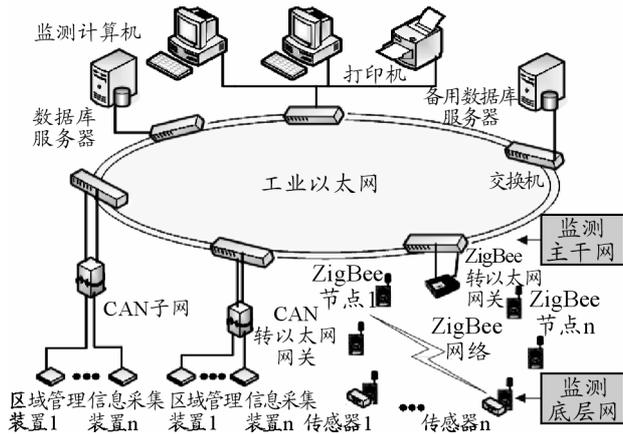


图1 IPS 网络化监测系统模型

实际上, 船舶舱室中的无线应用受到船舶舱室空间相对封闭的影响。然而对于有限空间内的无线应用来说, 特别是对于采集到的数字化信息通过无线信道进行数据传输来说, 这种无线应用仍然具有广阔的应用前景。这是因为有限空间的应用环境较为简单, 避开了舱室之间由于金属舱壁对无线信道衰减的影响。尽管无线信道存在随机性、复杂性和动态性等特点, 但是由于无线技术在环境适应上的优越性, 譬如可应用于有线传输无法或很难实现的高温、高振动场合, 这些优点使得无线系统很有必要引入船舶监控应用中作为船舶设备监控系统的一个有效补充, 发挥其在低成本、低速率、低功耗、可大规模配置、易组网易维护的特性。在安全性方面, 由于空间的封闭性, 空中数据包的安全性由于自然的屏蔽, 不会产生数据被窃取的威胁。

引入无线技术对 PMU 所采集到的数据在有限空间内进行无线数据传输, 实现 PMU 单元与监控终端的无线连接, 从而增强 PMU 单元的通信能力和功能通用性, 使得基于时钟同步技术的 PMU 单元在实现实时同步采集的同时具有接口多样化的新功能、新亮点。

根据 PMU 的应用要求, 从 PMU 的外围接口特点出发, 提出了为 PMU 增加 ZigBee 功能的两种实现方案, 一种是基于 SSI 串口的扩展, 另一种是基于 RS-232 串口的扩展, 同时进行了相关的软硬件设计和验证。

## 2 基于 SSI 串口的无线扩展方案

为相量测量单元 PMU 基于 LM3S8962ARM 芯片, 它具有 CAN 网接口、以太网接口, 用于与 CAN 网和以太网的连接以传输数据。该装置具有丰富的外部接口扩展功能, 除了 RS-232, RS-485 串口外,

还具有 SSI、GPIO 扩展口等。SSI 外部扩展引脚为 J14 口, 其引脚说明如图 2。

VDD3.3	J14		GND
PA3/SSIFss	1	2	PA4/SSI RX
PA2/SSICLK	3	4	PA5/SSI TX
	5	6	

图2 SSI 外部引脚接口示意图

本方案使用 ARMSKY-CC2430EB/EM 无线开发平台, 该平台具有 21 个通用 I/O 引脚和 2 个支持多种串行通信协议的 USART(通用同步异步收发器), 可在开发板的基础上通过 UART-RS232/USB 转换器实现与 PMU 以及 PC 终端的异步传输, 或者使用 USART 的 SPI 模式, 实现无线模块与 PMU 的同步传输, 从而为 PMU 进行 ZigBee 通信功能的扩展提供 2 种可行的方案。

### 2.1 PMU SSI接口的SPI无线扩展硬件设计

SPI 是通信设备中广泛采用的一种同步传输机制。在 SPI 模式<sup>[7]</sup>中, USART 通过三线接口或者四线接口与外部系统通信。这里, 三线模式指的是无 CSn 片选控制端。四线模式为通用的模式, 在 MOSI、MISO、SPICLK 的基础上, 增加 CSn 片选功能。SPI 采用主从模式, 在主模式中, USART 使用波特率发生器生成 SCK 串行时钟, 而且将发送寄存器提供的字节传送到输出引脚 MOSI。与此同时, 接收寄存器从输入引脚 MISO 获取收到的字节。SPI 从模式的字节传送由外部系统控制。输入引脚 MISO 上的数据传送到接收寄存器, 该寄存器由串行时钟 SCK 控制。SCK 为从模式输入。与此同时, 发送寄存器中的字节传送到输出引脚 MOSI。

SPI 各个引脚在串行通信过程中的时序过程<sup>[7]</sup>如图 3, t1 为串行时钟周期, t2、t3 为输入、输出的启动和保持时序, t4 为 SCK 到 MISO/MOSI 的时序。t5 为突发模式片选信号使能的时间, t6 为突发模式片选信号禁止的时间。CC2430 无线模块具有 P2 数据接口, 可通过杜邦线进行与 LM3S 8962 ARM 芯片相应引脚的连接, 其引脚排列<sup>[8]</sup>如图 4。

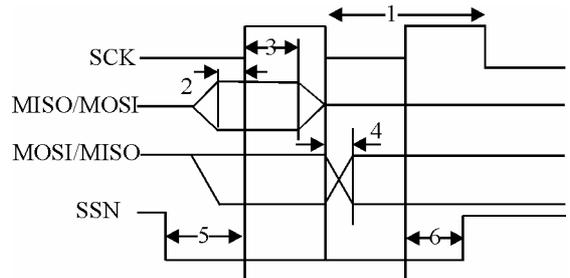


图3 SPI 交流特性

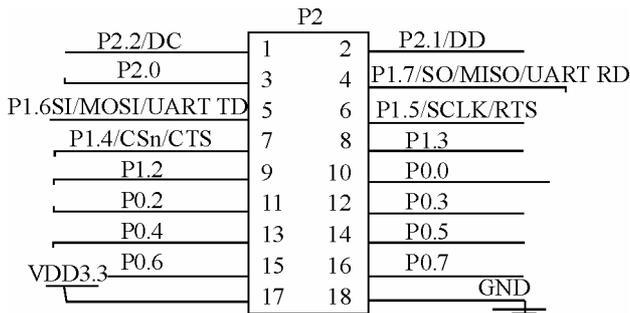


图 4 P2 扩展口引脚示意图

CC2430 有 21 个数字 I/O 引脚，可以配置为通用数字 I/O，也可以作为外部 I/O 信号，配置为连接 ADC、计数器或者 USART 等外部设备。这些 I/O 口的用途可以通过一系列寄存器配置，由用户软件加以实现。当用作通用 I/O 时，引脚可以组成 3 个 8 位口，定义为 P0、P1、P2，其中 P0、P1 是完全的 8 位口，而 P2 仅有 5 位可用。每个口都可以单独设置为通用 I/O 或外部设备 I/O。当指派外部设备到 P0 口时，P0 口的 2、3、4、5 引脚对应 SPI 的 MI、MO、C、SS，当外部设备指派到 P1 口时，P1 口的 4、5、6、7 引脚分别与外部设备的 SS、C、MO、MI 连接。

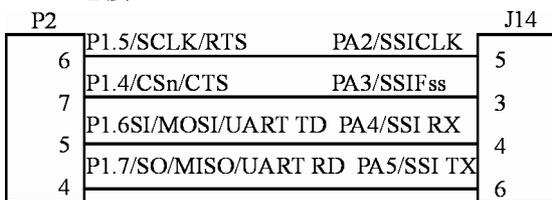


图 5 CC2430DB 无线模块与 PMU 的连线图

PMU 装置以 LM3S8962ARM 开发板为核心，其与无线模块 CC2430 的 SPI 连接框图如图 5。连线后的实物装置图如图 6。



图 6 SPI 扩展方式的实物连接示意图

### 2.2 PMU SSI接口的SPI无线扩展软件设计

将 PMU 设置为主模式，无线模块设置为从模式，由 PMU 发出串行时钟信号来进行与无线模块 SPI 通信的同步。PMU 端的 SSI 初始化配置流程图如图 7。CC2430 的 SPI 初始化配置如图 8。SPI 的工程文件由 SerialApp.eww<sup>[9]</sup>提供，供用户程序修改与调用。在进行芯片引脚初始设置及 SPI 初始化操作之后，进行 SPI 的数据读写操作。芯片引脚初始设置及 SPI 初始化操作的程序框图如图 9。

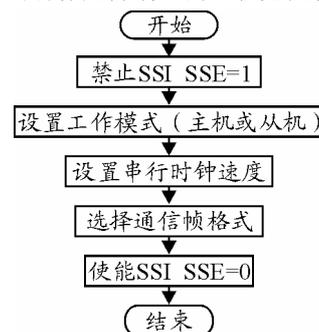


图 7 SSI 初始化配置流程

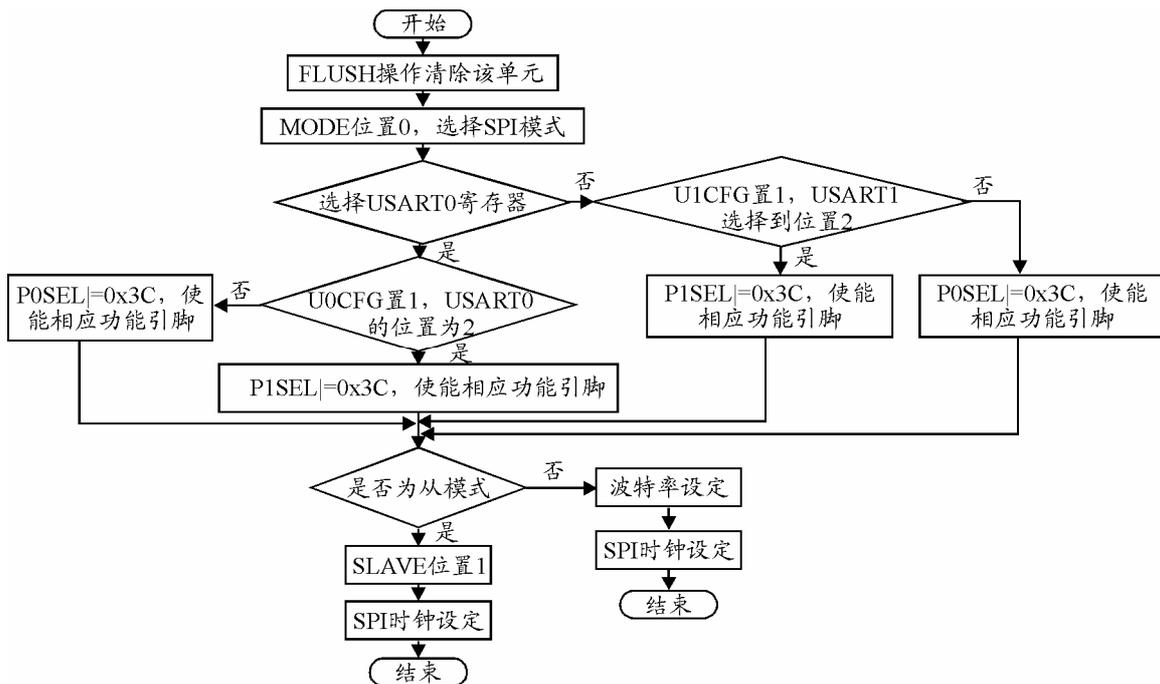


图 8 CC2430 的 SPI 初始化配置

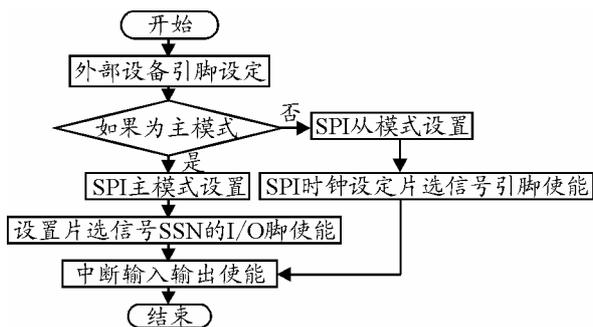


图9 SPI初始化模式配置流程

### 3 基于RS232串口转换的PMU无线扩展方案

基于 UART-RS232 转换器的扩展方案基于 PMU 已有的 RS-232 串口, 通过 UART-RS232 转换器, 实现 ZigBee 设备与 PMU 的连接。该方案简单可行, 并可在串口调试助手的帮助下实现数据的互发和监视, 以验证 ZigBee 器件与 PMU 的数据交互功能。ZigBee 器件作为独立的模块, 为 PMU 带来易扩展、易维护的特性。

由于 RS-232 串口通信技术已经非常成熟, 本方案使用 RS-232 串口线缆来连接 ZigBee 与 PC 终端和 PMU, 实现数据的双向发送, 不涉及引脚的连线, 简单易行, 其连接示意图如图 10。串行数据传输被设计为双向全双工, 无硬件流控, 强制允许 OTA (Over The Air) 多跳和丢包重传。

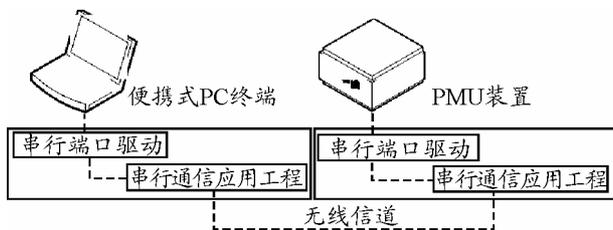


图10 硬件连接示意图

### 4 方案验证

结合 2 种方案使用的通信应用工程均在 SerialApp.eww 的应用基础上进行修改, 不同的是与 PMU 的连接方式。本试验使用无线 ZigBee 模块 CC2430 的 TSZ-CC2430 开发系统进行 RS-232 串口连接方案的功能验证。该开发系统具有 RS-232 扩展口及 USB 口。该平台通过 USB 接口直接连接 PC, 具有代码高速下载、在线调试 DEBUG、硬件断点、单步、变量观察、寄存器观察等全部 C51 源水平调试的功能; 本实验采用 IAR System 公司的 IAR Embedded Workbench (EW 8051) 集成开发环境。IAR System 一贯使用精简的优化技术, 与 AVR 等其它开发工具相比, 生成的可执行代码可以运行

在更小尺寸、更低成本的微处理器上, 对使用增强型 8051CPU 内核的 CC2420、CC2430 极为适用。

通过 RS-232 口连接 PMU, 并在开发系统无线芯片上加载终端应用工程<sup>[9]</sup>, 其实物连接图如图 11。

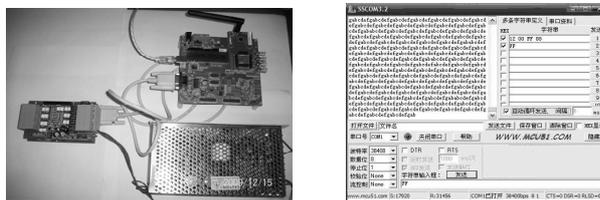


图11 RS-232 扩展的节点实物图 图12 数据收发示意图

一台 PC 终端通过 RS-232 串口连接 TSZ-CC2430 开发系统来接收数据, 另一个 TSZ-CC2430 开发系统通过 RS-232 串口与 PMU 相连来发送数据。采用串口调试助手, 观测数据包的收发, PMU 与 PC 双向收发, PC 向 PMU 发送“12 00 FF 88”和“FF”两个字符串控制命令, PMU 向 PC 模拟发送“abcdefg”测试数据, 收发情况如图 12。本试验采用无校验位、波特率为 38 400, 数据位 8 位, 停止位 1 位。

由实验数据可见, 通过 RS-232 接口连接 PMU 可以良好地进行无线数据包的发送与接收。

### 5 结束语

实验结果表明, 无线扩展使 PMU 的接口扩展能力增强, 进一步提高了 PMU 应用的通用性, 使 PMU 的应用范围更加广泛。

### 参考文献:

- [1] 马伟明. 船舶动力发展的方向-综合电力系统[J]. 海军工程大学学报, 2002, 14(6): 1-9.
- [2] 王俊波, 胥布工. CAN 报文实时性分析及在线评估[J]. 控制与决策, 2007, 22(4): 448-452.
- [3] 郭巍, 胡仁杰, 蒋玮. 无线传感器网络在配电设备监控中的应用研究[J]. 电工电气, 2009(3): 40-47.
- [4] 朱飞翔, 张英俊, 赵莉. 基于无线网络的船舶监控系统的设计与实现[J]. 中国航海, 2008, 31(2): 135-138.
- [5] 宗阳, 王建华, 刘维亭. 基于无线以太网的船舶机舱自动化监控系统的设计[J]. 华东船舶工业学院学报: 自然科学版, 2004, 18(1): 27-31.
- [6] 王雪. 无线传感网络测量系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 136-138.
- [7] SWRS036F, CC2430 Data Sheet (rev.2.1) [S]: TI Company, 2004: 144-152, 79-80.
- [8] 斯凯科技 ZigBee 无线定位开发系统用户使用手册 [EB/OL]. <http://www.armsky.net>, 2009-09-09.
- [9] SerialApp.c [CP/ OL]. <http://www.armsky.net/TexasInstruments/ZStack-1.4.2-1.1.0/Projects/zstack/Samples/SerialApp/CC2430DB/SerialApp.eww>.