

基于 ZigBee 的冷弯型钢在线监测系统

Online Monitoring System Based on ZigBee for Cold-formed Sectional Steel

吴京晶 吴伯农

(北方工业大学机电工程学院,北京 100144)

摘要: 针对冷弯型钢在线监测系统存在的问题,提出了基于 ZigBee 无线通信技术的监测系统。系统以 CC2430 为主控芯片,采用 ZigBee 协议栈(Z-Stack),按照星型网络拓扑构建。该监测系统设备体积小、功耗低、传输可靠性高,且无需钻孔布线,监测节点加入或移出方便,扩展性强,使得整个监测系统更加灵活有效。

关键词: 冷弯型钢 在线监测 ZigBee CC2430 SoC 智能传感器 信号处理

中图分类号: TH-39 **文献标志码:** A

Abstract: To solve the problems existing in online monitoring system for cold-formed sectional steel, the monitoring system based on ZigBee wireless communication technology is proposed. With CC2430 as the main control chip, by using ZigBee protocol stack (Z-Stack), the system is constructed in accordance with star network topology. The system features compact, low power consumption, and reliable transmission; neither drilling nor wiring is necessary, thus the monitoring node is easily to be added or removed, which makes the system more expandable and flexible.

Keywords: Cold-formed sectional steel Online monitoring ZigBee CC2430 SoC Intelligent sensor Signal processing

0 引言

随着国民经济的发展和现代化建设的需要,冷弯型钢的发展前景越来越广阔^[1]。在冷弯型钢成型过程中,作用于成型轧辊上的力、传动轴的扭矩以及转速是决定冷弯型钢机组成型效果的重要力能参数。为了准确监测成型过程中力能参数的变化,需要建立一个在线监测系统对力能参数进行监测。

冷弯型钢机组上各种力能参数的获取采用直接安装传感器的方法。对于一个完整的成型机组,由于生产厂家不同、型钢生产需求不同等,机组上需要安装的传感器数量也不尽相同,因此,一个完整的冷弯型钢机组在线监测系统对传感器个数需求量多且可变性大、布线工作量大,部分区域还不宜布线;此外,若在已经构建完好的系统中增/减传感器,需对整个系统进行重新配置,系统的可扩展性差。为了实现简单而可靠的监测,满足系统应用的灵活性以及传感器即插即用等需求,本文提出了一种基于 ZigBee 无线通信技术的在线监测系统,以完成冷弯型钢成型力能参数的实时监测。

1 系统整体构建

ZigBee 技术具有近距离、低复杂度、低功耗、低数

据速率、低成本、双向无线通信等优点^[2-7],它是传感器网络、建筑自动化等领域性价比较高的短距离无线技术。

本文提出的在线监测系统由布置在冷弯型钢机组上的各传感器从节点、主节点以及系统上位机组成,通信部分采用成熟的 Z-Stack 协议栈实现。系统结构框图如图 1 所示。监测系统按照星型网络拓扑结构,构成拥有一个主节点、多个从节点的 ZigBee 监测网络,满足监测系统的大容量需求。

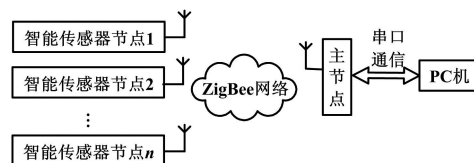


图 1 系统结构框图

Fig. 1 Structure of the system

主节点作为网络的处理中心,负责网络的建立和管理,并指挥各个从节点完成信号采集与传输;同时,利用串口通信技术与上位机进行通信^[8-10],将各个从节点的数据传输给上位机作进一步的处理。

各从节点分布在冷弯型钢机组上,整合了传感器信号采集模块、信号调理模块和 ZigBee 无线射频(radio frequency, RF)收发模块的从节点构成智能传感器节点。各智能传感器节点根据主节点指令完成信号采集和处理,然后通过无线收发模块传送给主节点。

修改稿收到日期: 2013-03-15。

第一作者吴京晶(1988-),女,现为北方工业大学机械电子工程专业在读硕士研究生,主要从事传感器与智能仪器仪表的研究。

在 ZigBee 监测网络中,配置一个统一的 ZigBee Profile^[2-4],以实现主从节点之间的通信,即同一网络中协调器和各个节点的 Profile_ID 值一致,但要注意不能跟现有网络的 Profile_ID 冲突。获得 Profile_ID 后,定义相应的 ZigBee 设备描述、串(簇)标志符、端点。在 ZigBee 设备描述符中使用 ASCII 为每一个传感器节点设置唯一的“标志符”,分别为 Force、Torque、Speed。此外,每个传感器还要完成端点定义,根据不同类型传感器完成的任务不同,编写相应的应用程序,即为端点定义。传感器信号经过相应的信号处理模块后,通过 RF 收发器将数据发送给主节点;主节点收到数据后根据其设备描述符判断其类型,然后针对不同类型数据作出不同的处理并显示数据,以便监测冷弯成型机组的运行状态。

2 系统的硬件设计

监测系统的核心器件选择 TI/Chipcon 公司的 CC2430,它是专门针对 2.4 GHz IEEE 802.15.4/ZigBee 的、真正意义上的片上系统(system on chip, SoC)解决方案。CC2430 整合了 ZigBee 无线射频收发模块以及工业标准的增强型 8051MCU,还包括 8 kB 的 RAM、128 kB 大容量内存,可以方便地实现监测系统的数据存储与处理。它还具有强大的直接内存存取(direct memory access, DMA)功能,在不需要 CPU 干预的情况下,完成模/数转换 ADC、异步串口通信 UART、RF 收发器等外设单元与存储器之间的数据交换。这些优良性能可以使监测系统的整体效率得到很大的提高。

CC2430 仅需很少的外置元件,且所选用元件均为低成本电容和电阻,这使得监测系统中节点快速而廉价的构建成为可能^[3]。

2.1 主节点的设计

主节点由串口模块、电源模块、天线模块、LED 显示模块构成。主节点硬件框图如图 2 所示。

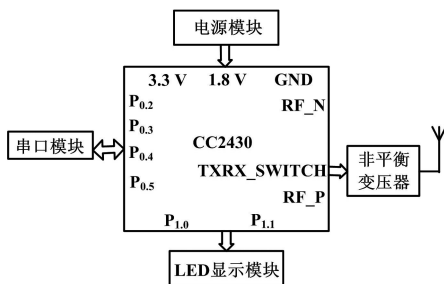


图 2 主节点硬件框图

Fig. 2 Hardware of the main node

串口模块用于主节点与上位机的通信。用户在主

机操作,通过主节点对网络进行配置和管理,发布监测任务和收集监测数据。

电源模块为主节点各模块供电,外接标准 5 V 直流电压源。由于 CC2430 的工作电压为 3.3 V 和 1.8 V,因此在电源模块中需要将 5 V 电压转换为 3.3 V 和 1.8 V,以满足芯片供电需求。

LED 显示模块主要用来显示网络连接状态和串口通信是否正常。

CC2430 可以使用不同类型的天线,如偶极子的差分天线、单极子螺旋和环形天线等。用于短距离通信的常用天线是单极子天线,也称非平衡天线。在监测系统中,信号传输属于短距离通信,且要求低功耗,所以采用了非平衡天线,以提供最大的通信范围。

采用非平衡天线时^[9],在差分输出和天线之间需要连接非平衡变压器,以使天线性能更好。非平衡变压器原理图如图 3 所示。该变压器由电容 C_1 和电感 L_1 、 L_2 、 L_3 以及 1 个 PCB 微波传输线组成,整个结构满足 RF 输入/输出匹配电阻(50 Ω)的要求。

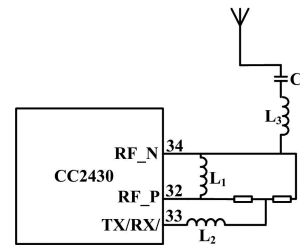


图 3 非平衡变压器原理图

Fig. 3 Principle of Balun transformer

2.2 智能传感器节点的设计

智能传感器节点主要由传感器信号处理模块、电源模块和天线模块构成。智能传感器节点硬件框图如图 4 所示。

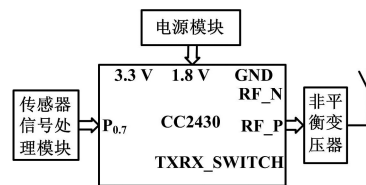


图 4 智能传感器节点硬件框图

Fig. 4 Hardware of the intelligent sensor node

监测系统采用电阻应变式传感器测量轧辊的轧制力,采用集成扭矩传感器测量主轴的扭矩和转速。在智能传感器节点的设计中,针对这三种信号的不同特点,需要不同的信号处理模块(分别命名为传感器信号处理模块 A、B、C)对其进行处理,然后送入主控芯片 CC2430。

2.2.1 轧制力信号处理模块设计

对于测量轧制力的电阻应变式传感器,其输出信号较微弱,仅为毫伏级差分电压信号,所以在针对该信号的传感器信号处理模块 A 中,需要对信号进行放大。对于工作在冷弯机组上的传感器,周围的大功率电机对传感器产生严重的电磁干扰、直接影响测量精度。所以在信号放大之前,还需要加上抗电磁干扰滤波电路,以滤除干扰信号,然后经放大送入微处理器进行模数转换,最后经过 CC2430 集成的无线射频收发模块将信号发给主节点。传感器信号处理模块 A 的原理图如图 5 所示。

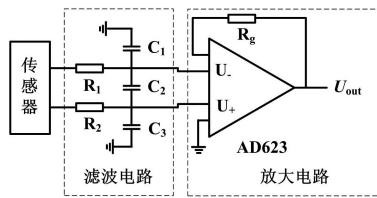


图 5 传感器信号处理模块 A 原理图

Fig. 5 Principle of sensor signal processing module A

图 5 中,滤波电路由 R_1 、 R_2 、 C_1 、 C_2 、 C_3 组成的抗高频干扰滤波器实现。当不考虑 C_2 时, R_1 、 C_1 和 R_2 、 C_3 就构成了传感器两输出端至仪用放大器两输入端之间的两低通滤波器,滤波器的差分带宽等于共模带宽,即^[11]:

$$B_1 = BW_{CM} = \frac{1}{2\pi RC} \quad (1)$$

式中: $R=R_1=R_2$; $C=C_1=C_3$ 。

若 RC 不完全匹配,会引起幅值差,而在带宽范围内滤波器不能将该幅值差滤除。当接入 C_2 后,该滤波器的差分带宽为:

$$B_2 = \frac{1}{2\pi R(2C_2+C)} \quad (2)$$

比较式(1)和(2)可以看出,如果使 $C_2 = 10C$,则差分带宽约为共模带宽的 1/20,因此滤波器可大量滤除因 RC 不匹配引起的差分信号。

针对信号放大,系统采用仪用放大器 AD623^[12] 组成放大电路。AD623 是一个集成单电源仪表放大器,它能在单电源(+3 ~ +12 V)下提供满电源幅度的输出,具有低功耗、单电源、高稳定性、低噪声、线性度好等优点。AD623 允许使用单个增益设置电阻 R_g 进行增益编程,以得到良好的用户灵活性。AD623 的增益 G 由 1 脚和 8 脚之间的外接电阻 R_g 决定,即 $G = \frac{100 \text{ k}\Omega}{R_g} + 1$ 。在无外接电阻的条件下,AD623 被设置为单位增益;外接电阻后,AD623 可编程设置增益,其增

益最高可达 1 000 倍。AD623 通过提供极好的随增益增大而增大的交流共模抑制比(AC/CMRR)而保持最小的误差,线路噪声和谐波将由于共模抑制比在高达 200 Hz 时仍保持恒定而受到抑制^[13]。

监测系统中,放大后的信号送入微处理器进行模数转换。为了有效地利用模数转换的分辨率,一般要求模拟输入电压值近似等于模数转换的参考电压(实际应用中一般为 2/3 ~ 3/4 参考电压)。因此,选定 AD623 的外接电阻 $R_g = 499 \Omega$,将轧制力传感器输出的毫伏级信号放大 200 倍,以满足微处理器模数转换的电压范围。

2.2.2 扭矩和转速信号处理模块设计

对于测量主轴扭矩和转速的集成扭矩传感器,它可以同时测量扭矩和转速信号。针对这两种传感器信号的信号处理模块 B 和 C 的原理图如图 6 所示。

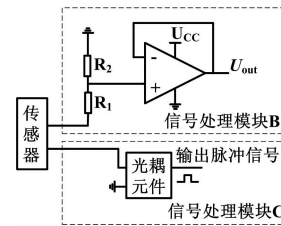


图 6 传感器信号处理模块 B 和 C 原理图

Fig. 6 Principle of sensor signal processing module B and C

由于扭矩信号为 1 ~ 5 V 的电压信号,主控芯片 CC2430 的参考电压为 3.3 V,因此,扭矩信号应该先通过电压转换至芯片参考电压以下,才能送入微处理器进行模数转换。传感器信号处理模块 B 即为 1 个将 5 V 电压转换为 3.3 V 电压的电压转换模块。

转速信号是脉冲信号,微处理器可以对脉冲信号进行计数,所以可以直接将脉冲信号接入微处理器。但是,为了防止信号间的相互干扰,在脉冲输入与微处理器 I/O 口之间需加一个光耦元件(即传感器信号处理模块 C),起到隔离作用。

3 系统的软件实现

软件实现包括针对该监测系统的具体应用软件和 ZigBee 协议软件^[14-15]。作为 ZigBee 网络协调器的主节点负责建立网络、维护以及与上位机通信的任务,上电后 MCU 进行 ZigBee 协议栈的初始化工作,接着自主进行能量扫描,检查其周围有无其他 ZigBee 网络存在;然后根据能量扫描的结果选择一个合适的信道,选择个域网(personal area network, PAN)标志、网络短地址、超帧序号、信标序号等参数;最后启动协调器,允许作为终端设备的各个传感器从节点连接。随着从节点

的连接,PAN 网络就建立起来了。

传感器从节点主动扫描获得 PAN 的信息,发出信标请求命令,然后等待主节点发送的信标,接收并保存有效的信标或者帧;成功完成扫描后,返回的确认原语中包含一个 PAN 描述符表,从节点分析并记录这些信息,确认是要加入的网络并确定主节点接收设备的连接请求后,加入网络并建立绑定。传感器节点能够根据主节点的控制信号周期性地向主节点发送数据,主节点通过串口与上位机连接,其将接收到的数据发送到上位机作进一步处理。

3.1 主节点软件实现

主节点负责网络的建立和管理,并向从节点发出指令、接收从节点数据。主节点流程图如图 7 所示。

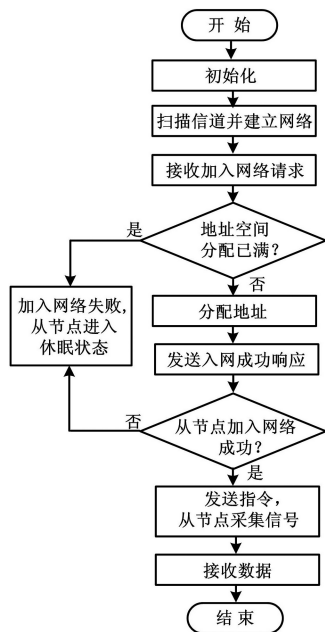


图 7 主节点流程图

Fig. 7 Flowchart of the main node

首先进行初始化,初始化主要是 ZigBee 协议栈初始化、RF 初始化(设置通信频率)和直接内存存取(direct memory access,DMA)初始化(清除 DMA 标志位及各个通道),确保接收机工作在与发射机相同的频道上,并设置 DMA 通道。系统时钟频率设置为 32 MHz,以使 RF 能正常工作。

然后,主节点扫描信道并建立网络,建立成功后,自动进入允许绑定模式,对传感器节点发送的绑定请求作出响应。绑定成功后,主节点即可向加入网络的传感器从节点发出采集指令,并收集传感器节点发送的数据,指示应答。

主节点的物理层接收到来自从节点的数据时,通过物理层将收到的信息传给 MAC 层,这样就完成了数

据的接收。接收到的数据从接收机 FIFO 中取出,再通过 DMA 送到存储器。

3.2 智能传感器节点软件实现

智能传感器节点的初始化与主节点相同。智能传感器节点流程图如图 8 所示。

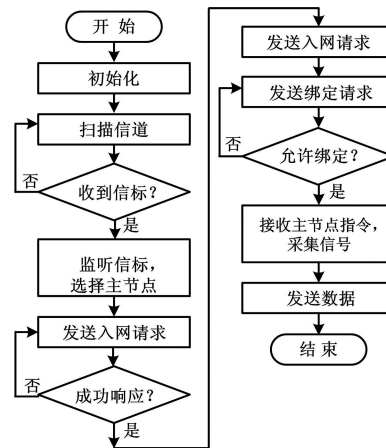


图 8 智能传感器节点流程图

Fig. 8 Flowchart of the intelligent sensor node

首先进行初始化,初始化完成后,智能传感器节点自动扫描信道,发现网络后发出绑定请求,等待主节点绑定响应是否成功,以完成绑定操作。如果智能传感器节点没有发现网络,其将周期性地继续搜索;如果没有收到主节点的绑定请求应答,则传感器节点将重复发送绑定请求。

然后接收主节点的指令,根据指令完成信号采集,将采集到的数据传送到发射机的 FIFO 中,并发送给主节点。

4 结束语

本文针对冷弯型钢在线监测中传感器布线工作量大、部分区域不宜布线以及系统可扩展性差等问题,提出了基于 ZigBee 无线通信技术的在线监测系统。ZigBee 技术在冷弯型钢在线监测中的应用,降低了系统的功耗和成本,方便了监测节点加入或移出监测网络,提高了系统可扩展性,同时也减少了现场布线带来的各种问题。

参考文献

- [1] 李景方,习荣堂. 冷弯型钢成型力能参数研究[J]. 重型机械, 1994(1):31-34.
- [2] 高守玮,吴灿阳. ZigBee 技术实践教程:基于 CC2430/31 的无线传感器网络解决方案[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2009.

(下转第 35 页)