

ZigBee 技术在塔吊安全监测预警系统中的应用

张青春, 王伟庚, 孙志勇

(淮阴工学院 电子与电气工程学院, 江苏 淮安 223003)

摘要: 针对建设工程塔吊安全监测的现状, 将 ZigBee 技术应用于塔吊安全监测预警系统, 设计专用 WSN 节点, 实现位移、压力和距离监测功能; 将现场监测数据通过 WSN 节点及时上传到监控中心 PC 机进行实时显示和处理, 如果监测数据超出报警值, 立即发出报警信号, 从而有效地预防塔吊事故发生, 确保塔吊运行安全; 经组网调试, 系统性能稳定可靠, 测量数据误差小于 5%, 传输距离可达 1 km 以上, 具有较高的性价比和推广应用价值。

关键词: ZigBee; WSN; 塔吊; 安全监测; 预警

Application of ZigBee Technology in System of Tower Crane Safety Monitoring and Early Warning

Zhang Qingchun, Wang Weigen, Sun Zhiyong

(Faculty of Electronic and Electrical Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huaian 223003, China)

Abstract: Based on the status of tower crane safety monitoring for construction project, ZigBee technology is applied for tower crane safety monitoring and early warning system, the WSN nodes are designed for displacement, stress and distance monitoring function. Through WSN nodes, field monitoring data are uploaded timely to the monitoring center PC, for real-time display and processing, if the monitoring data exceeds the alarm value, the alarm signal will be sent out immediately, to prevent tower crane accidents effectively, and ensure the safe of crane operation. By the network debugging, the system is stable and reliable performance, data measurement error is less than 5%, transmission distance can reach more than 1000 meters. It has high performance to price ratio and application value.

Keywords: ZigBee; WSN; tower crane; safety monitoring; early warning

0 引言

采用基于 ZigBee 技术无线传感器网络进行塔吊安全监测, 能实时测量运行塔吊基座位移、压力和吊臂避碰距离。采用涡流位移传感器测量塔吊基座的位移, 判定监测部位是否发生偏移; 采用应变片式压力传感器测量塔吊基座所承载的压力, 判定监测点是否超载; 采用超声波传感器测量吊臂与障碍物间距离, 以防碰撞。监测数据通过 CC2530 无线收发模块及时、准确地上传到控制中心 PC 机进行实时显示和处理, 如果监测数据超过警戒值则发出报警信号, 高效率地实现塔吊单机运行安全和塔吊群体交叉作业避碰的实时监测与预警功能^[1-2]。

1 总体设计

1.1 系统总体结构^[3]

系统网络结构如图 1 所示, 主要由无线传感器网络节点(采集压力, 位移, 间距等数据)、无线网关(连接无线传感器网络与管理控制中心)和监控中心(对上传的数据进行处理、显示、判断和决策)等几部分组成。无线传感器节点采用立体式安装方式, 将位移、压力传感器节点安装在塔吊底座上, 超

声波测距传感器节点安装在吊臂前段, 具有数据监测和超限报警功能。

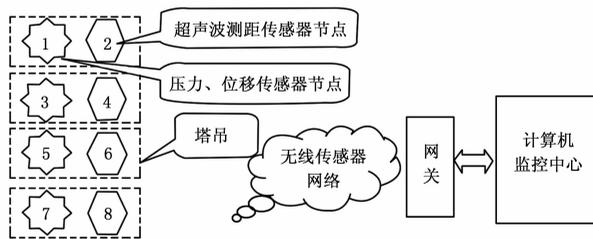


图 1 系统网络结构图

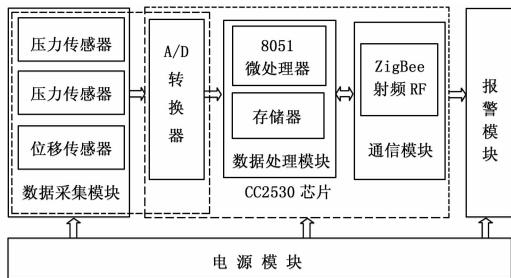
1.2 无线传感器网络 (WSN) 节点^[4]

塔吊安全监测预警系统 WSN 节点包括塔吊底座压力、位移传感器节点和塔臂超声波测距传感器节点。WSN 节点主要由数据采集模块、数据处理模块、通信模块、报警模块和电源模块这 5 部分组成。1) 数据采集模块包括各种测量传感器、信号调理电路、A/D 转换器; 2) 数据处理模块主要由 8051 微处理器、存储器构成, 用于数据的处理和存储, 是节点的核心; 3) 通信模块由 ZigBee 无线收发器组成, 用于与其他传感器节点、网关节点进行通信, 交换控制信息和收发采集数据, 是整个节点最耗能的部分; 4) 报警模块由双音频电路构成, 当测量值超过警戒值时, 报警器发生报警信号; 5) 电源模块采用太阳能电池板给高能蓄电池供电, 通过充电电路、电压转换电路, 为 CC2530、传感器及相关电路提供电源。WSN 节点原理如图 2 所示。

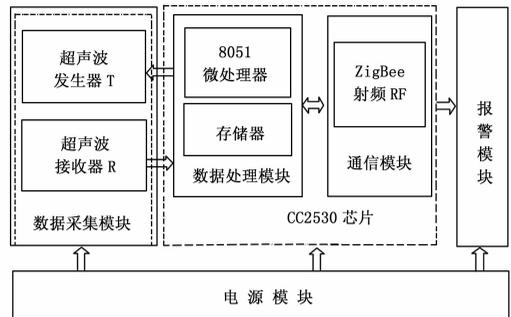
收稿日期: 2013-12-06; 修回日期: 2014-02-26。

基金项目: 2011 年江苏省淮安市科技创新载体平台建设 (HAP201107)。

作者简介: 张青春(1964-), 男, 江苏省盱眙县人, 教授, 主要从事无线传感器网络与物联网技术、传感器技术与自动检测技术及智能仪器等方向的研究。



(a) 压力、位移传感器节点原理框图



(b) 超声波测距传感器节点原理框图

图 2 WSN 节点原理框图

1.3 CC2530 模块

CC2530 是用于 IEEE 802.15.4、ZigBee 和 RF4CE 应用的一个真正的片上系统 (SoC) 解决方案，它能够以非常低的总的材料成本建立强大的网络节点。CC2530 结合了领先的 RF 收发器的优良性能，业界标准的增强型 8051 CPU，系统内可编程闪存，8-KB RAM 和许多其他强大的功能。内置 7~12 位分辨率 A/D 转换器，具有 8 个输入通道 (P0.1~P0.7)。

1.4 网关

网关处理器采用 CC2530 模块作为微处理器，主要负责数据采集、分发以及程序测试，该网关采用高性能的 CP2012 USB 转 RS232 芯片，方便与具有不同操作系统的计算机进行 RS232 通信。

2 硬件电路设计

2.1 传感器及其测量电路

2.1.1 压力传感器

采用 YZC-1 型电阻应变式压力传感器，输出灵敏度为 2.0 mV/V，激励电压为 5~15 VDC，工作温度范围为 -30~+70℃，极限超载范围为 200%。试验时选择 15 kg 量程，在工程塔吊监控应用中可选用 500 kg 以上量程。将 2 个 (或 4 个) 电阻应变式压力传感器安装在塔吊底座监测受力状况，在 +5 V 电源工作时应变片电桥输出电压为 0~10 mV，该信号通过 LM324 放大处理后分别接入 CC2530 的 P0.1 和 P0.2 端口。信号调理电路如图 3 所示。

2.1.2 位移传感器

采用 XGCD-04P1 电涡流位移传感器，其工作原理是基于涡流效应，输出电压为 0~5 V，电源电压为 5~24 VDC，量程为 0~20 mm。将 2 个 (或 4 个) 传感器通过基准梁安装在塔吊底座上方，在底座测量点设置金属反射面。位移传感

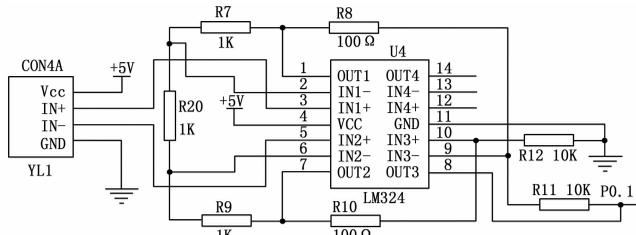


图 3 压力传感器测量电路

器输出信号电压信号无需外接其他信号处理电路，可直接将其接到 CC2530 模块的 ADC P0.3 和 P0.4 端口。

2.1.3 超声波传感器

选择 HC-SR04 超声波测距模块，具有 20~1 500 mm 的非接触式距离感测功能。该模块工作电压为 5 VDC，工作频率为 40 kHz。当输入 10 μs TTL 脉冲触发信号时，该模块将发出 8 个 40 kHz 的方波信号，经反射后检测回波信号。一旦检测到有回波信号则输出回响信号。输出回响信号为与射程成比例的 TTL 电平，其宽度为 ΔT (μs)。设常温时超声波在空气中波速 V=344 m/s，则测量距离 L=0.5 * V * ΔT=0.0172 * ΔT (cm)。该模块有 4 根引线，VCC 接 5 V 电源，GND 接地线，TRIG 为触发控制信号端口，连接 CC2530 输出端口的 P0.4，ECHO 为回响信号输出口，连接 CC2530 输入端口 P0.3。初始化时将 TRIG 和 ECHO 端口均置低电平。

2.2 报警电路

超声波测距传感器节点的报警端口是 CC2530 的 P0.1 口，压力、位移节点报警端口是 CC2530 的 P1.2 口。当监测系统中任何一个压力、位移传感器节点或超声波传感器节点采集到的数据超过设定的报警值，则 CC2530 模块的报警端输出低电平，使蜂鸣器发出响声报警，报警电路如图 4 所示。

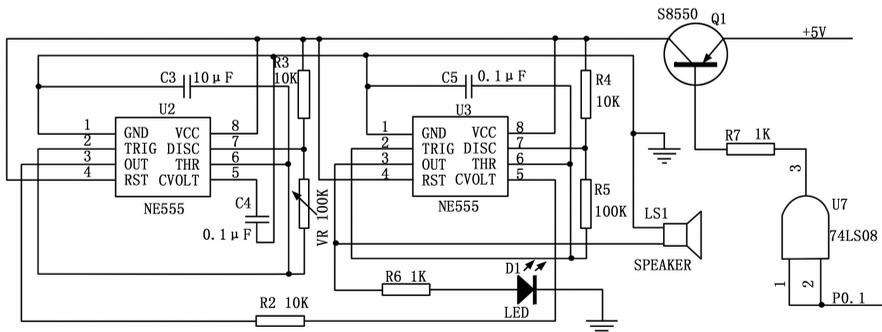


图 4 报警电路

2.3 电源电路的设计

采用 9 V 太阳能电池板为 WSN 节点提供稳定可靠的电源。采用 XB5351 和 IN5819 构成太阳能电池充电电路，具有防止电池过充和蓄电池倒流功能。L7805 输出 5VDC，为传感器及测量电路提供电源，ASM1117 输出 3.3VDC，为 CC2530 芯片提供工作电源。

3 系统软件设计

3.1 开发环境

3.1.1 IAR 开发环境

WSN 节点软件设计在 IAR 开发环境下进行。IAR 提供了

C 程序的一整套开发环境及附属软件包, 可以很便捷地编译、下载、调试程序。通过 IAR 工具, 用户可以大大节省工作时间, 实现“不同架构, 同一解决方案”的设计理念。

3.1.2 VS2005 开发环境

监控界面软件设计使用 ZigBeePC 平台, 该平台是在 Visual Studio 2005 (VS2005) 开发环境下设计的。VS2005 可以用来创建 Windows 平台下的 Windows 应用程序和网络应用程序, 也可以用来创建网络服务、智能设备应用程序和 Office 插件。

3.2 软件设计

3.2.1 系统软件总体设计

系统软件由数据采集端和数据接收端程序组成, 均包括初始化程序、发射程序和接收程序等设计。1) 初始化程序主要是对单片机、射频芯片及 SPI 等进行处理; 2) 发射程序将建立的数据包通过单片机 SPI 接口送至射频发生模块输出; 3) 接收程序实现接收和处理数据的功能。系统依次进行初始化、节点查询、采样数据、数据收发及数据处理等过程。

3.2.2 无线传感器节点软件设计

1) 压力、位移传感器节点软件设计: 压力、位移传感器节点在处于休眠状态时关闭通讯模块, 休眠状态唤醒后开始采集并发送数据。WSN 节点接收上位机发送的信号后, 做出相应的处理。通过 CC2530 P0.1—P0.4 分别采集 2 路压力、2 路位移信号, 经 A/D 转换后变成数字量, 进而进行数据处理和通讯。当测量值大于设定的报警值, 则启动报警。压力、位移 WSN 节点软件流程图如图 5 所示。

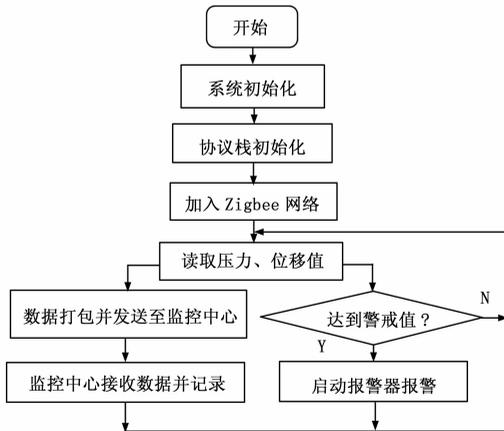


图 5 压力、位移 WSN 节点软件流程图

2) 超声波传感器节点软件设计: 以 PC 机为上位机, 设定检测周期, 程序初始化, 发射开始采样信号。超声波传感器节点将测量信号处理后发送到网关板节点, 上位机接收、记录、处理和显示数据。超声波传感器节点测距部分软件如下:

```

/* 使能回波接收端口 P0.3 为通用 I/O, 且为输入 */
P0SEL = P0SEL & 0YL1f3;
P0DIR = P0DIR & 0YL1f3;
/* 使能触发口 P0.4 为通用 I/O, 且为输出 */
P0SEL = P0SEL & 0YL1ef;
P0DIR = P0DIR | 0YL110;
P0_4 = 0;

```

```

/* 使能报警 P0.1 为通用 I/O, 且为输出 */
P0SEL = P0SEL & 0YL1fd;
P0DIR = P0DIR | 0YL102;
P0_1 = 1; // 不报警
HalLcd_HW_WaitUs(65535);
/* 配置 P0.3 为定时器 1 的片内外设 I/O */
P0SEL |= 0YL108;
/* 配置 P0.3 第一优先作为定时器 1 的通道 1 */
P2DIR |= (0YL102 << 6);
/* 捕获定时器 1 的通道 1 上上升沿 */
T1CCTL1 |= 0YL103;
/* 设置 Timer Tick 为 1MHz */
CLKCONCMD |= (0YL105 << 3);
/* 配置 1 分频, 自由计数器工作模式, 并开始启动 */
T1CTL = 0YL101;
}
void measureDistance (void) // 距离计算函数
{
uint16 timeLong;
triggerPulse10µs (); // 10µs 的触发信号
if (lookForLowToHigh() == 1) // 判断上升沿
return; //
timeLong = echoBackWidth (); //
if (timeLong <= 38000)
distanceValue = (uint16)(timeLong / 58); // 计算距离 (cm)
if (distanceValue < 70) // 距离小于 70cm 报警
{
P1_0 = 0; // 报警开
Else
P1_0 = 1; // 报警关
}
.....
}

```

3.2.3 上位机软件设计

上位机软件设计在 VS2005 环境下进行。依次进行初始化 (包括窗体初始化、数据库初始化等), 打开串口准备接收数据, 数据处理 (包括数据记录, 数据图表制作等), 判断报警条件等。如果满足报警条件, 则界面上的“红灯”开始闪烁并发出报警声, 同时在窗体上显示报警的节点型号、报警量。

4 系统调试与数据分析^[5]

3 个 WSN 节点编号分别为塔臂超声波测距节点 21317 和 12999, 塔吊底座位移、压力测量节点 54838。图 6 (a) 显示了网络中的所有节点、活动节点和不活动节点。在右边的检测界面里, 显示具体节点名称以及实时检测的数据 (包括采集到的时间、节点号、传感器数据以及原始数据等)。点击报警记录时, 当发生报警时, 不仅可以进行声光报警, 而且可以记录报警详情, 包括报警的时间、节点号及测量数值等。点击“数据分析”, 可以通过此界面进行数据的分析, 包括读取某一个传感器的数值及其折线图。试验时, 当压力 1 大于 7 * 10 N、压力 2 大于 11.62 * 10 N、位移大于 3 mm、超声波测距小于 70 cm 时, 上位机及无线传感器节点同时发出报警信号。压力传感器报警数值如图 6 (b) 所示。

