

基于 TinyOS 的无线传感网络温湿度采集系统^①

段培永, 宁晨光, 徐丽平, 段晨旭

(山东建筑大学 信息与电气工程学院, 济南 250101)

摘要: 无线传感器网络在智能家居系统中有广泛的应用前景, 温度和湿度是影响室内舒适度的两个重要参数。提出了基于 TinyOS 的无线传感网络温湿度数据采集系统, 设计了无线节点模块以及传感模块, 分析了 TinyOS 的运行机制和开发步骤, 开发了基于 TinyOS 的底层硬件驱动程序和上位机系统, 组成了多跳网络。实验研究表明系统运行良好, 达到了预期的设计要求。

关键词: TinyOS; 无线传感网络; 温湿度检测

Wireless Sensor Networks for Temperature and Humidity Acquisition System Based on TinyOS

DUAN Pei-Yong, NING Chen-Guang, XU Li-Ping, DUAN Chen-Xu

(School of Information and Electrical Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China)

Abstract: Wireless sensor networks have widely application prospects in smart home system. Temperature and humidity are two important parameters of indoor environment, which affect the comfort of the room. In this paper, a temperature and humidity data acquisition system using wireless sensor networks based on TinyOS is presented. Wireless node module and sensor module are designed and TinyOS operating mechanism and development steps are analyzed. Underlying hardware drivers based on TinyOS and upper computer system are developed, forming a multi-hop network. Experimental studies show that this system is running well, and the expected design requirements are achieved.

Key words: TinyOS; wireless sensor networks; temperature and humidity

无线传感器网络是由多个无线传感器节点相互通信形成的多跳自组织网络^[1], 具有感知、计算和通信能力, 能够在网络覆盖范围内协作完成对环境信息的感知和数据采集。通过传感器可采集温度、湿度等众多物理数据, 将物理世界的模拟现象数字化, 进而直观的展现在人们眼前。近年来, 随着无线通信、智能传感、和嵌入式计算的不断发展和日臻成熟^[2], 无线传感器网络在智能家居中也得到了越来越广泛的应用, 与有线网络相比, 在灵活性和可扩展性方面无线传感网络有着巨大的优势。

温度和湿度是室内舒适度的两个重要参数, 为了在智能家居中进行有效的舒适度控制, 采集和分析这两个参数很重要。本文开发的无线传感器网络温湿度采集系统, 以 TinyOS 作为嵌入式操作系统, 编写了底层驱动程序, 研究了 TinyOS 硬件接口层的特征; 实现了无线传感节点在室内的部署, 组成了多跳网络, 对

室内的温湿度进行了采集; 开发了基于 ARM9 的上位机系统, 实现了友好的人机界面。

1 系统体系结构

系统主要由传感器节点、网关节点和上位机系统构成。首先, 传感器节点按照温湿度采集需求部署在家居环境中, 通过自组网方式构成多跳网络。传感器节点采集完温湿度数据后将数据发送, 数据沿着其他传感器节点逐跳进行传输, 最后到达网关节点, 网关节点完成数据协议转换后将数据发送到上位机系统, 随后数据就可显示在监控程序界面。系统体系结构如图 1 所示。

2 系统节点硬件结构

2.1 节点硬件总体结构

硬件部分主要由电源模块、处理器模块、无线收

^①基金项目:国家自然科学基金(61374187)

收稿时间:2013-12-04;收到修改稿时间 2014-01-08

发模块、FLASH 存储器构成的基础部分, 由温湿度传感模块构成的扩展部分. 节点硬件结构如图 2 所示.

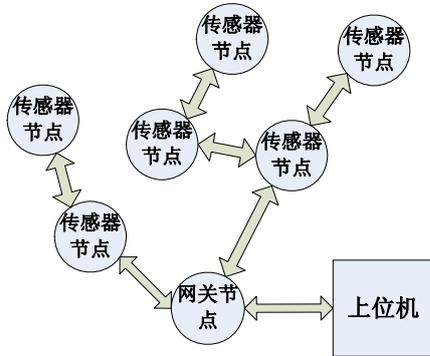


图 1 系统体系结构图

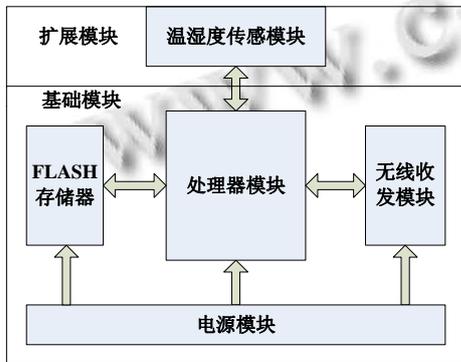


图 2 节点硬件结构图

2.2 处理器模块

微处理器是无线节点的核心, 其处理能力、功耗、硬件资源等将直接决定节点的性能. 本系统节点的处理器采用 ATMEGA128L, 该款处理器采用 RISC 架构, 片内资源丰富, 超低功耗, 满足无线节点工作的需要. 处理器外围电路如图 3 所示.

2.3 无线收发模块

无线收发模块负责无线节点之间的通信, 无线模块的选取主要依据传播距离、误码率、射频功率等参数^[3], 一般的射频芯片都包含了发射器和接受器, 能实现比特流到无线电波的转换. 本系统采用 AT86RF230 芯片完成无线收发功能, 该芯片是一款针对 ZigBee/IEEE802.15.4 协议设计的低功耗、低成本无线射频芯片. AT86RF230 芯片具有 SPI 接口, 可以方便的实现与处理器的连接. ATMEGA128L 与 AT86RF230

的连接如图 4 所示, 两者的 SPI 接口按主从方式对应连接, 采用同步时钟. ATMEGA128L 的 PB4 和 PB5 作为 GPIO 用以控制 AT86RF230 的睡眠模式和复位.

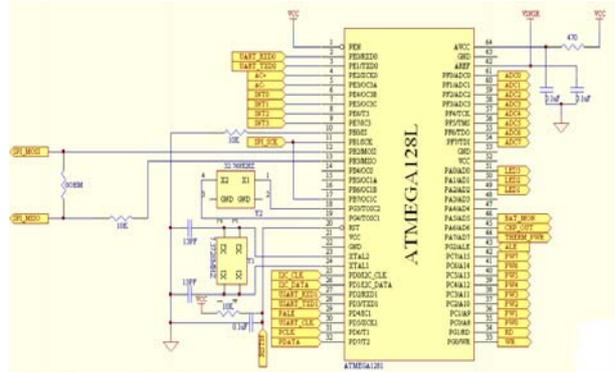


图 3 处理器外围电路原理图

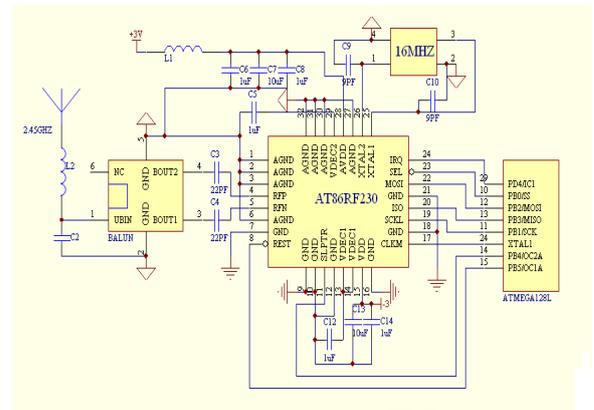


图 4 处理器与射频芯片的连接原理图

2.4 传感模块

传感模块实现了无线传感节点感知物理世界的功能, 将外界的物理量转化为电量, 再经转换电路实现数字量输出. 本系统设计的传感模块如图 5 所示.

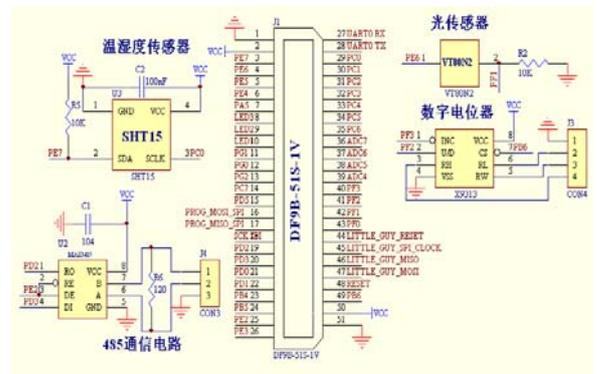


图 5 传感模块原理图

温湿度传感器采用 SHT15 数字温湿度传感器, 该传感器能够快速、精确地检测温度和湿度, 并通过双线双向串行接口直接输出数字信号. SHT15 包含一个电容式聚合体测湿元件和一个能隙式测温元件, 具有一个内置的 14 位 AD 转换器, 温度测量范围: -40°C — 123.8°C , 精度 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$; 湿度测量范围: 0 — $100\% \text{RH}$, 精度 $\pm 2.0\% \text{RH}$ ^[3]. SHT15 的 SCK 引脚和微处理器的 I/O 口相连, 微处理器通过向 I/O 口输出高低电平来模拟通信时序, 实现对 SHT15 的控制.

3 基于TinyOS的系统程序设计

3.1 TinyOS(TinyMicro Threading Operating System)

TinyOS 是由加州大学伯克利分校开发的适用于无线传感器网络的操作系统, TinyOS 是基于事件驱动的系统, 采用了组件化的结构, 因其代码量少、并发性高、鲁棒性好^[4], 所以在无线传感器网络中的到了广泛应用, 逐渐成为了无线传感器网络研究的标准平台.

3.1.1 TinyOS 组件化结构

组件技术在嵌入式操作系统中得到了广泛应用, 系统中的硬件和底层软件被抽象为一个个组件, 从而实现了对外的屏蔽, 只留出了标准的应用接口, 用户编程时只需关注组件的接口即可, 无需了解组件的具体实现过程, 从而提高了软件的重用度和开发效率.

完整的 TinyOS 系统由一个调度器和一些组件组成, 应用程序和组件一起编译成系统. 组件由底层至高层可分为: 硬件组件、综合硬件组件和高层软件组件, 硬件组件实现了物理硬件映射; 综合硬件组件实现不同数据格式的交互; 高层软件组件实现数据处理和路由等功能. TinyOS 的组件层次结构如图 6 所示.



图 6 TinyOS 组件层次结构图

TinyOS 的组件分为配件和模块两种. 配件负责配置组件之间的相互访问关系, 模块则实现组件的具体

功能. 配件和模块都使用 provides 和 uses 声明使用的接口, 接口是组件提供的与外界联系的唯一方式, 接口是双向的, 一方面接口的提供者实现了接口的一组功能函数, 称为命令(commands); 另一方面接口的使用者实现了一组功能函数, 称为事件(events). 使用接口就可以实现不同组件之间复杂的交互.

3.1.2 TinyOS 调度机制分析

TinyOS 的调度器具有二级结构, 第一级维护命令和事件, 第二级维护任务. 事件是抢占式的, 可以抢占正在运行的任务或低优先级的事件, 用于有实时性要求的场合; 任务是非抢占式的, 用于实时性要求不高的场合, 默认的是简单的 FIFO 调度.

3.1.3 TinyOS 通信机制分析

TinyOS 是基于主动消息进行通信的, 其基本思想源于并行和分布式计算机系统. 当发送消息时, 消息的数据包本身携带有消息处理函数的参数, 消息到达目的节点后会立即触发相应的事件处理函数, 通信与数据处理相互融合, 可以大大减少通信量, 缓解网络的负担. TinyOS 的主动消息结构如下:

```
typedef struct TOS_Msg
{
    /*以下数据用于无线收发*/
    uint16_t addr; //目标节点 ID
    uint8_t type; //消息类型
    uint8_t group; //节点所在的组
    uint8_t length; //有效数据长度
    int8_t data[TOSH_DATA_LENGTH]; //数据
    uint16_t crc; //crc 校验
    /*以下的的数据不用于无线收发作为内部参数使*/
    uint16_t strength;
    uint8_t ack;
    uint16_t time;
    uint8_t sendSecurityMode;
    uint8_t receiveSecurityMode;
} TOS_Msg;
```

3.1.4 nesC 语言

TinyOS 最初是用汇编和 C 语言编写的, 但是开发人员发现 C 语言不能有效、方便地支持用于无线传感器网络的操作系统开发, 于是, 研究人员对 C 语言进行了扩展, 提出来支持组件化编程的 nesC 语言, 把组件化思想和基于事件驱动的执行模型结合了起来, 提高了无线传感器网络开发的方便性. TinyOS 本身及

其应用程序都是基于 nesC 语言开发的。

4 节点的程序设计

一个完整的 TinyOS 应用程序都必须包含一个顶级配置文件, 通常以顶级配置名+M.nc 命名^[4], 该文件中是对 TinyOS 应用程序中各组件以及组件之间的接口关系的描述, 反映了应用程序的功能, 是 nesC 编译器生成可执行文件的源文件。任何一个 TinyOS 应用程序都是由若干组件按照一定的关系组装而成的复合组件, 在这些组件中必须有一个主要组件 Main 组件, 该组件由操作系统提供, 节点上电复位后系统会首先执行该组件中的函数, 该组件需要在程序的配件中对其进行绑定。Main 组件提供的接口 StdControl 可以实现系统初始化和运行用户组件。Main 组件的具体实现是由组件 RealMain 完成的, RealMain 的部分代码如下所示:

```
int main()_attribute__((C, spontaneous))
{
    call hardwareInit();//硬件初始化
    call Pot.init(10);//电位器初始化
    TOSH_sched_init();//调度器初始化
    call StdControl.init();//调用接口函数
    call StdControl.start();//调用接口函数
    _nesc_enable_interrupt();//开中断
    while(1){
        TOSH_run_task();//运行任务
    }
}
```

TinyOS 应用程序至少包含一个用户组件, 该组件实现数据采集、数据处理等功能, 用户组件的开发是 TinyOS 应用程序开发的核心。

4.1 温湿度传感节点程序设计

温湿度传感节点的程序主要用到的组件有: Main 组件、传感模块组件 SensorM、通信组件 GenericCommPromiscuous、自组网路由协议组件 XmeshBinaryRouter、温湿度传感器驱动组件 TmpHumM、时钟组件 TimerC、LED 灯组件 LEDC。组件之间的连接关系如图 7 所示。

SensorM 组件通过 Sample 接口连接到 SampleM 组件, SampleM 组件调用接口 ADConvert 连接到 TmpHumM 组件, 从而实现了对 TmpHumM 组件采集

到的温湿度参数的读取。SHT15 温湿度传感器提供的双线双向串行接口并不能直接用 I²C 接口连接, 因此程序中使用了微处理器的 I/O 口来模拟通信时序, 实现与 SHT15 的连接, 底层硬件分别使用了 ATMEGA128L 的 PC0 引脚和 PE7 引脚连接到了 SHT15 的 CLK 和 DATA 引脚。TmpHumM 组件程序中实现了对底层微处理器 I/O 引脚寄存器的配置, I/O 引脚模拟时序的产生, 温湿度数据的读取等功能。

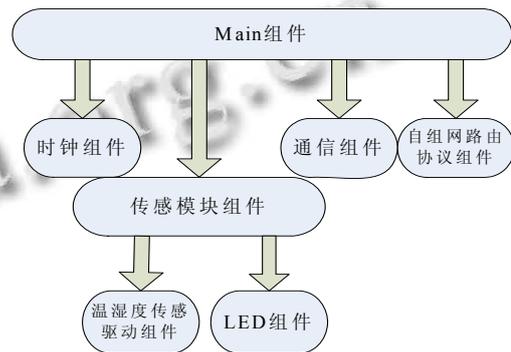


图 7 组件之间的连接关系图

XMeshBinaryRouter 组件通过接口 StdControl 与 Main 组件相连, 系统上电之后自组织一个自适应多跳 Mesh 网络。XMeshBinaryRouter 组件提供的 MhopSend 接口结合 GenericCommPromiscuous 组件可实现无线消息的发送。实现无线通信的主要代码如下:

```
task void send_radio_msg()
{
    uint8_t i;
    uint16_t len;
    //声明数据缓存指针
    XDataMsg *data;
    if(sending_packet)return;
    atomic sending_packet=TRUE;
    //获得数据缓存区
    data=(XDataMsg*)
    call Send.getBuffer(msg_ptr, &len);
    //数据格式转换
    tmppack=(XDataMsg *)packet.data;
    //将数据存入发送数据缓存区
    for (i = 0;i<= sizeof(XDataMsg)-1;i++)
        ((uint8_t*)data)[i] =
        ((uint8_t*)tmppack)[i];
}
```

```

if
(call Send.send(BASE_STATION_ADDRESS,
MODE_UPSTREAM,msg_ptr,
sizeof(XDataMsg)) != SUCCESS)
{//发送状态标识
atomic sending_packet = FALSE;}
}
    
```

4.2 网关节点程序设计

网关节点实现了温湿度传感节点和上位机之间的通信，在网关节点的程序中使用通信组件 GenericCommPromiscuous 的通用串口通信功能与上位机通信，把通过无线信号接收到的温湿度数据发送到计算机的串口上。网关节点程序组件之间的调用关系如图 8 所示。

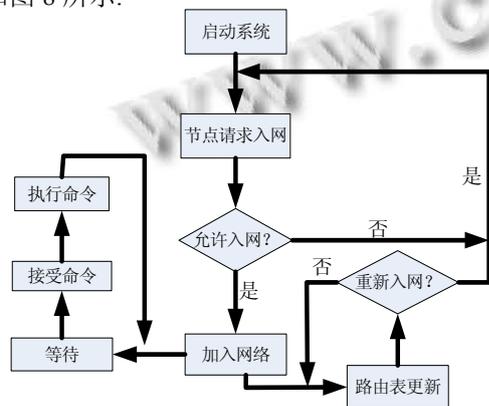


图 8 网关节点组件调用关系图

网关节点收到的所有消息都会通过 SendMsg 接口转发至上位机，上位机下达的任何命令都通过 ReceiveMsg 接口接收至缓存区，再通过 MhopSend 接口以无线信号的形式发送。

5 系统组网及运行流程

系统上电后，节点会周期性地广播路由消息，消息的内容包括：节点号、网络级别、电源供应状态、网络状态等，每一个节点都会维护一个路由表，该路由表包括了临近节点的路由信息。网络级别指的是节点到网关的跳数，网关节点默认已入网，网络级别默认设置为 0，其他节点在入网之前网络级别设为 255。

节点在加入网络之前将网络状态设置为请求入网，已经入网的节点收到带有请求入网的路由消息后，在下次发送路由消息时将网络状态设置为允许入网并

将该节点加入路由表，该节点收到应答消息后将对方节点加入自己的路由表，从而完成入网过程。

系统网络建成后，命令从上位机下达，经网关节点发送，传感节点收到命令后，执行相应的程序，采集室内温度和湿度参数，采集完成后将数据上传，经网关节点到达上位机。整个系统组网及运行流程如图 9 所示。

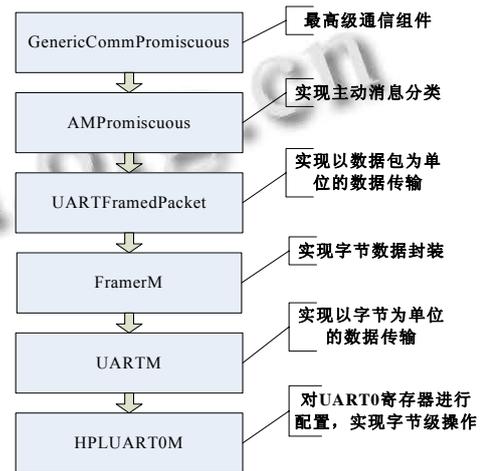


图 9 系统组网及运行流程图

6 上位机系统开发

温湿度参数采集上来以后需要一个直观显示界面，本系统开发了基于 ARM9 硬件平台以及 Linux 操作系统软件平台的上位机系统。上位机采用技术成熟的 Mini2440 开发板作为载体，移植了 Linux 操作系统和 SQLite 数据库，采用 Qt 图形库自主开发了图形用户界面系统。如图 10 所示。



图 10 上位机界面

7 结语

无线传感器网络应用前景广泛，本文开发的无线

温湿度数据采集系统充分利用了无线传感器网络的灵活性和可扩展性,所采集的温度和湿度参数对于智能舒适家居系统的研究有重要意义.本文从硬件和软件两个层面上对无线传感网络进行了研究. TinyOS 的引入对于无线传感器网络的发展有较大的影响,从简化开发和降低功耗两方面 TinyOS 都有较大优势,本文将 TinyOS 作为无线传感节点的操作系统,为无线温湿度采集系统的实际应用奠定了基础.

参考文献

- 1 钱志鸿,王义君.面向物联网的无线传感器网络综述.电子与信息学报,2013,35(1):215-217.
- 2 屈峰,杨华,王立军,谢爱荣.无线传感器网络及其应用.四川兵工学报,2013,34(2):111-112.
- 3 段培永,王仲,李慧,段晨旭.基于 TinyOS 的无线热舒适度测量系统.山东建筑大学学报,2012,26(5):452-453.
- 4 吴小娜,王漫.无线传感器网络操作系统 TinyOS 综述.计算机与现代化,2011,186(2):103-104.
- 5 刘营,于宏毅.基于 TinyOS 的无线传感器网络应用程序开发技术.传感器与微系统,2007,26(3):93-95.
- 6 王仲.基于传感网络的智能家居舒适度测控系统.济南:山东建筑大学,2012.
- 7 孙利民.无线传感器网络.北京:清华大学出版社,2005.
- 8 MINI2440 用户手册.http://www.arm9.net,2010-02-04.
- 9 ATMEGA128PreliminarySummary.
http://atmel.com/Images/2549S.pdf,2011-05.
- 10 Xteam(中国)软件技术有限公司.QT 程序设计.北京:清华大学出版社,2002.