

单个 ZigBee 网络的多网关系统^①

刘焕强¹, 徐亚峰¹, 顾晓峰¹, 何磊²

¹(江南大学 电子工程系 轻工过程先进控制教育部重点实验室, 无锡 214122)

²(中国科学院 苏州纳米技术与纳米仿生研究所, 苏州 215123)

摘要: 单个 ZigBee 网络往往只有一个网关. 单网关系统可能存在一些问题, 如大数据量造成网络延时, 网关节点坏掉使整个网络瘫痪等. 为解决这些问题, 提出了一种在单个 ZigBee 网络中设置多个网关的设计方法. 将网络中所有传给单个网关的数据分成几部分分别传送给多个网关, 各网关将数据进行转换后传输到以太网, PC 端服务器通过 TCP/IP 协议汇总网关数据后集中处理. 介绍了多网关系统的组成和工作原理, 完成了系统软硬件设计, 并详细描述了路由对最佳网关的选择过程, 最后对系统进行了测试. 测试结果表明, 该多网关系统运行稳定, 能有效弥补单网关 ZigBee 网络的不足.

关键词: ZigBee; 网关; 无线传感网; 以太网; TCP/IP

Multi-gateway System in Single ZigBee Network

LIU Huan-Qiang¹, XU Ya-Feng¹, GU Xiao-Feng¹, HE Lei²

¹(Key Laboratory of Advanced Process Control for Light Industry (Ministry of Education), Department of Electronic Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

²(Suzhou Institute of Nano-tech and Nano-bionics, Chinese Academy of Sciences, Suzhou 215123, China)

Abstract: Single ZigBee network usually has only one single gateway. Single gateway system may have some problems, for example, network time delay caused by the large amount of data, and paralysis of the whole network due to the dysfunction of one gateway node. In order to solve these problems, the design method of multiple gateways in a single ZigBee network is proposed. Firstly, Data sending to the single gateway are divided into several parts and sent to multiple gateways. Then, gateways convert the received data and transmit them to the Ethernet. PC server gathers data via TCP/IP protocol and processes them eventually. The architecture and working principle of the designed multi-gateway system are introduced first. The hardware and software designs of the system are presented, and the route selection process for the best gateway is described in details. The final testing results indicate that the multi-gateway system works stably and can make up the deficiency of the single gateway ZigBee network effectively.

Key words: ZigBee; gateway; wireless sensor network; ethernet; TCP/IP

1 引言

ZigBee 是一种新兴的短距离、低速率无线网络技术^[1], 具有低功耗、低成本、低复杂度等优点, 在无线传感网应用中扮演着非常重要的角色. 随着 ZigBee 技术的应用日益增加, 通过 ZigBee 网关完成传感网和 Internet 的信息交换, 实现数据的远程传输和处理, 已成为该领域的一个研究热点^[2]. ZigBee 网关的主要功

能是数据汇总和消息转换^[3,4], 能将 ZigBee 网络中的数据进行地址、协议转换后发送给以太网; 另一方面, 能对以太网传送过来的数据进行地址、协议转换后发送给 ZigBee 网络节点. 因此, ZigBee 网关是 ZigBee 网络与以太网数据交换的中转站.

目前国内对 ZigBee 网关的研究主要侧重于单网关的设计与实现, 对多网关的研究侧重于基于 IEEE

① 基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金(JUSRP20914,JUDCF10031)

收稿时间:2012-03-14;收到修改稿时间:2012-04-26

802.11 的无线 Mesh 网络, 鲜见针对 ZigBee 网络的多网关解决方案. 国外有文献分析了无线传感网存在多网关的情况下, 可有效地避免吞吐量的降低、减少多跳传感器节点之间的路由及降低传输时间延迟^[5]. 在实际 ZigBee 无线传感网应用中, 往往存在大量节点, 现场布局特殊或地理环境复杂, 网关节点可能出现故障, 这些因素使单网关系统往往难以满足应用需求. 因此, 本文提出一种在单个 ZigBee 网络中设置多个网关的设计方法, 利用多个网关在单个 ZigBee 网络中同时进行数据转换和传输. 网关数量可根据需要灵活增减; 通过对应用层初始化函数和事件处理函数进行修改; 改变路由的上报方式; 路由加入网络后自动寻找传输效果最好的网关, 将该网关地址作为上报数据的最终地址, 并能随着网关数量的变化自动更新最佳网关地址. 系统测试表明数据能够成功上传到相应的网关.

2 多网关系统的总体设计

多网关系统设计如图 1 所示, 该系统存在多个路由和多个网关, 终端节点没有列出, 终端节点只跟自己的父节点进行数据交换. 父节点路由将数据传递给网关, 网关将数据进行协议转换后传送到以太网, 用户通过远程 PC 机上的 ZigbeeServer 软件汇总网关数据进行集中处理. 反之, 也能发送控制命令到网关, 网关将数据进行转发. 图中所示箭头并非数据传输的实际路径, 而表示路由上报数据至网关的最终目的路径.

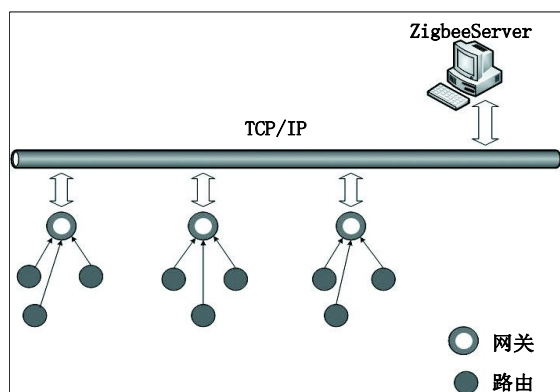


图 1 多网关系统架构

当网络中存在多个网关时, 路由开机后会单跳广播一条消息给邻近所有网关, 所有网关收到该消息后都返回一条消息给该路由; 之后路由会根据与各个网

关之间的通信状况选择一个通信状态最好的网关作为自己的网关, 获取并保存该网关的网络短地址. 通常情况下离该路由距离最近的网关会被路由选择为最佳网关, 如图 1 所示, 这样数据从 ZigBee 终端最终传到网关, 相比单网关系统大大减少了路由转发数据的跳数, 节约了路由成本.

当网络中新加入一个网关时, 所有的路由节点删除现有保存的网关地址, 重复运行开机寻找最佳网关过程, 最大程度上保证了路由对最佳网关的选择.

3 系统硬件设计

网关的硬件结构设计如图 2 所示, 主要包括 ZigBee 模块和 RS232-TCP/IP 转换模块. 两模块之间通过 RS232 串口线连接; 去掉 RS232-TCP/IP 转换模块和 RS232 串口线, 即为路由的硬件结构. 实际应用中可根据需要安装与拆除该模块, 并进行软件的相关配置, 实现网关与路由的转换, 增加多网关系统配置的灵活性.

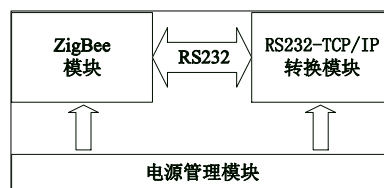


图 2 网关硬件框图

ZigBee 模块采用德州仪器(TI)公司的 CC2430 芯片^[6]. CC2430 是真正的片上系统解决方案^[7], 它结合了一个高性能 2.4 GHz DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum)射频收发器核心和一颗工业级小巧高效的 8051 控制器, 具有 32/64/128 KB 可编程闪存和 8 KB 的 RAM, 还包含 A/D 转换器、AES128 协同处理器、看门狗定时器、32 kHz 晶振的休眠式定时器、上电复位电路、掉电检测电路及 21 个可编程 I/O 引脚等. 由于 CC2430 芯片的高集成度, 仅需添加少量外围元件就可完成 ZigBee 通信功能的硬件实现.

RS232-TCP/IP 转换模块采用 CONEXTOP 公司的 NePort_L 模块. NePort_L 是一款高集成度、高性能的嵌入式设备联网服务器的 RJ45 产品, 拥有 10M/100M 的以太网接口, 可同时传送 TCP/UDP 包给多个数据接收设备, 并拥有 1 个高速串口, 波特率可达 921,600 bps, 能轻松地将带有标准串口的设备连入以太网.

4 系统软件设计

多网关系统改变了利用一个网关接收和转换 ZigBee 网络中所有上报数据的情况, 而是利用多个网关同时进行该过程. 这样一来, 路由上报网关的地址就无法确定, 在编写程序的时候也无法指定短地址. 因此, 该多网关系统软件设计的关键部分为: 路由在多网关存在的情况下, 对最佳网关的自动选择. 对网关的选择情况将直接影响网络传输数据量的大小.

采用 TI 公司的 ZigBee2006 协议栈, 为了实现路由和网关之间能相互切换, 将路由和网关的程序放入同一个工程文件. 定义一个全局变量 isGateway 作为标识来判断网关和路由, 当该变量值设置为 1 时执行网关程序, 为 0 时执行路由程序. 图 3 给出了路由对最佳网关选择的程序流程, 为实现该过程, 需对应用层初始化函数和事件处理函数进行修改.

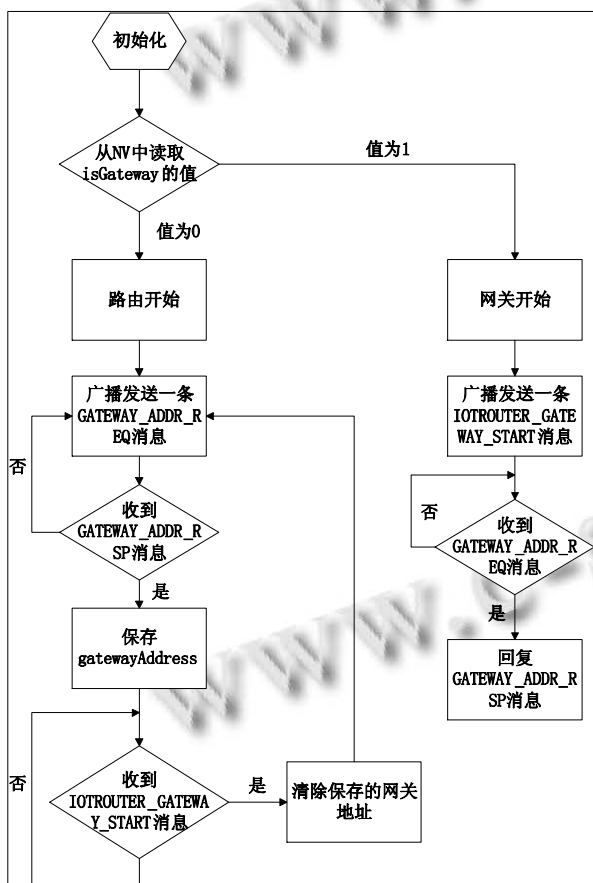


图 3 路由选择最佳网关的流程

在初始化函数中增加如下代码:

```
void RefNode_Init(byte task_id) //初始化函数
{
```

```
.....
isGateway=0; //首次运行默认为路由启动
if(ZSUCCESS==osal_nv_item_init(ROUTER_IS_GATEWAY,sizeof(byte), &isGateway)) //初始化 NV 条目
{
osal_nv_read(ROUTER_IS_GATEWAY,0,sizeof(byte), &isGateway); //从 NV 中读取 isGateway 的值
}
else
{
osal_nv_write(ROUTER_IS_GATEWAY,0,sizeof(byte), &isGateway); //将 isGateway 的值写入 NV 中
}
if(isGateway) //网关开始
{
RefNode_SendGatewayStartMsg();
}
else //路由开始
{
gatewayAddress=0; //清除保存的网关地址
RefNode_ScanGateway();
}
}
```

每次开机后除了进行硬件设备的初始化外, 首先执行初始化函数, 在初始化函数中首先完成路由和网关程序的判别. 当程序首次运行对 isGateway 赋值为 0, 程序默认为路由启动, 并将 isGateway 值写到非易失性存储器(NV)中, 加入 NV_RESTORE 编译选项, 防止意外掉电对系统造成影响. 程序自第一次运行之后, 从 NV 中读取 isGateway 的值开始程序. 因此, 为了实现路由与网关之间的切换, 只需编写一条控制命令, 改变 NV 中 isGateway 对应的条目值即可, 可通过串口或无线发送控制命令来实现.

程序选定网关后执行 RefNode_SendGatewayStartMsg()函数, 其主要功能为单跳广播一条 Cluster ID 为 IOTROUTER_GATEWAY_START 的消息. 选定路由后首先清空网关地址, 随后执行 RefNode_ScanGateway()函数. 该函数主要完成两个工作: 1.单跳广播一条 Cluster ID 为 GATEWAY_ADDR_REQ 消息; 2.启动一个定时事件并使 LED1 闪烁, 例如:

```
osal_start_timerEx(RefNode_TaskID,GATEWAY_S
CAN_EVT,5000) //等待 5 秒启动 GATEWAY_
SCAN_EVT 事件
```

```
HalLedBlink(HAL_LED_1,5,50,1000); //LED1
闪烁
```

在事件处理函数中对 GATEWAY_SCAN_EVT 进行如下处理:

```
if ( events & GATEWAY_SCAN_EVT )
{
    RefNode_ScanGateway ();
    Return (events ^ GATEWAY_SCAN_EVT);
}
```

这样就启动了一个周期性寻找网关事件. 当路由找不到网关时, 每隔 5 秒重新发送请求, 同时 LED1 灯闪烁; 找到网关后停止定时器, 关闭 LED1 灯. 因此, 通过观察 LED1 灯即可判断路由寻找网关的状态.

事件处理函数主要完成两个事件的处理: 除了对 GATEWAY_SCAN_EVT 自定义事件的处理外, 主要对接收数据的 SYS_EVENT_MSG 系统事件处理. 当接收到无线数据时会触发 processMSGCmd()函数, 在该函数中增加如下处理程序:

```
static void processMSGCmd( afIncomingMSG
Packet_t *pkt ) //消息处理函数, pkt 为指向无线数据
包的指针
```

```
{
    switch (pkt->clusterId) //判断消息的 Cluster ID
    {
    case GATEWAY_ADDR_RSP:
        if(isGateway==0) //路由执行
        {
            RefGetFirstRsp (pkt);
        }
        break;
    case IOTROUTER_GATEWAY_START:
        if(isGateway==0) //路由执行
        {
            gatewayAddress=0; //清除保存的网关地址
            RefNode_ScanGateway();
        }
        break;
    case GATEWAY_ADDR_REQ:
```

```
if(isGateway) //网关执行
{
    RefNode_SendGatewayAddrRsp(pkt);
}
break;
.....
}
```

当有新路由加入网络后, 网关会收到 Cluster ID 为 GATEWAY_ADDR_REQ 的消息, 然后执行 RefNode_SendGatewayAddrRsp()函数, 该函数对发出请求的路由回复一条包含自己短地址且 Cluster ID 为 GATEWAY_ADDR_RSP 的消息.

当路由收到所有网关传送过来的 Cluster ID 为 GATEWAY_ADDR_RSP 的消息后, 选择通信状况最好的一个网关为最佳网关. 由于该消息是路由对所有网关同一时间请求的回复, 此处近似将收到第一个消息回复的网关作为最佳网关. RefGetFirstRsp()函数对消息的处理如下:

```
static void RefGetFirstRsp (afIncoming MSG
Packet_t *pkt )
{
    if (gatewayAddress==0) //如果网关地址为空
    {
        gatewayAddress=BUILD_UINT16(pkt->cmd.Data[0], pkt->cmd.Data[1]); //保存网关地址
        if (gatewayAddress!=0) //如果保存成功
        {
            osal_stop_timerEx(RefNode_TaskID,SCAN_EV
T); //停止周期扫描网关事件
            HalLedSet(HAL_LED_1,HAL_LED_MODE_OF
F); //关闭 LED1
        }
    }
}
```

当有新网关加入网络后, 所有路由将会收到 Cluster ID 为 IOTROUTER_GATEWAY_START 消息, 之后清除保存的网关地址, 然后执行 RefNode_ScanGateway()函数, 重新运行路由寻找网关过程.

5 系统测试

发送配置命令把路由配置成网关,将 ZigBee 模块通过 RS232 串口线与 RS232-TCP/IP 转换模块一端连接,另一端通过 RJ45 接口接入以太网.然后对 NePort_L 模块进行相关配置,设置 NePort_L 与 CC2430 相等的串口传输速率,设置好 IP 地址、子网掩码、默认网关、端口号等相关参数.为实现远程控制,网关与 PC 端服务器之间需建立一个 TCP/IP 连接.此处将网关配置为客户端,将 PC 端 ZigBeeServer 软件配置为服务端.

图 4 给出了多个网关同时存在时,PC 端 ZigBeeServer 软件接收数据的界面截图.PC 端 ZigBeeServer 作为服务端建立了一个端口号为 7123 的 TCP 连接,共有 4 个作为客户端的网关接入到网络中;可以看到每个网关对应的 IP 地址与端口号,选中某一网关后软件左侧的数据区会显示相应网关的数据.例如,图中所示为选中 IP 地址为 10.8.4.184、端口号为 5000 的网关采集到的数据.同时,为了对数据进行更灵活的处理,ZigBeeServer 汇总多个网关的数据后,可将数据直接转发给相应的应用程序.例如,图中所示为将采集到的数据转发给 IP 地址为 58.210.56.165、端口号为 7124 的应用程序.



图 4 ZigBeeServer 界面图

6 结语

提出了一种在单个 ZigBee 网络中设置多个网关的设计方法,并完成了该多网关系统的软硬件设计和实现.利用多个网关分流的方法,改变了单网关系统中将所有上传数据传送给唯一网关的情况,能有效降低由于大数据量造成的网络延时.另外,系统网关配置简单灵活,可根据现场布局灵活配置,有助于解决无线信号死角问题.系统测试表明,实现的多网关系统能正常稳定地运行,能满足针对大数据量的实时采集要求.

参考文献

- 1 Zig Bee Alliance. ZigBee Specification 2006.[2010-8]. <http://www.zigbee.org>.
- 2 杨顺,章毅,陶康.基于 ZigBee 和以太网的无线网关设计.计算机系统应用,2010,19(1):194-197.
- 3 Shen CC, Srisathapomphat C, Jaikao C. Sensor Information Networking Architecture and Applications. IEEE Personal Communications, 2001,8(4):52-59.
- 4 Hwang K, In J, Park N, Eom D. A Design and Implementation of Wireless Sensor Gateway for Efficient Querying and Managing through World Wide Web. IEEE Trans. on Consumer Electronics, 2003,49(4):1090-1097.
- 5 Yang P, Dong C, Wang H, Chen G. Characterizing the Scaling Capacity of Multiple Gateway Access in Wireless Sensor Networks. The 8th International Conference on Embedded Computing. Dalian, China. 2009: 415-419.
- 6 Chipcon. The Data Sheet of CC2430. [2005-10]. <http://www.chipcon.com>.
- 7 李文仲,段朝玉.ZigBee2006 无线网络与无线定位实战.北京:北京航空航天大学出版社,2008.