文章编号:1674-7070(2014)01-0034-07



刘荣[1] 周杰[2] 杜景林[2] 郑若钦[2]

一种无线传感器网络应用系统的中间件设计与实现

摘要

为了降低获取异构传感器网络数据的复杂性,通过对无线传感器网络(WSN)接入异构网络技术的研究,提出了一种无线传感器网络应用系统的中间件设计方案.该方案是以 S3C6410 为主处理器的嵌入式开发板作为硬件开发平台,通过 AODV 路由协议,使多个监测区域的 WSN 网关和 Adhoc 网关组建成 Adhoc 类型的网络,从而解决了无线传感器网络与外部公网无缝隙连接的问题.该方案不但实现了经过 WSN 网关处理加工后的无线传感器网络数据上传至远程服务器的功能,而且为多个异构无线传感器网络同时接入外部网络提供了一种可靠的解决方法.

关键词

异构;无线传感器网络;嵌入式;Adhoc;中间件

中图分类号 TP311.51

文献标志码 A

收稿日期 2012-07-26

资助项目 气象无线传感网系统关键设备与信息处理平台开发(BE2011195);江苏省科技支撑计划

作者简介

刘荣,男,硕士生,主要研究方向为无线传感器网络和嵌入式技术.nuistlr@163.com

周杰(通信作者),男,教授,主要研究方向为移动通信.zhoujie45@hotmail.com

1 南京信息工程大学 信息与控制学院,南京,210044

2 南京信息工程大学 电子与信息工程学院,南京,210044

0 引言

无线传感器网络(WSN)是继计算机和互联网之后世界信息产业的第三次浪潮,已成为新一轮全球经济和科技发展的战略焦点.随着研究的不断深入,无线传感器网络会逐渐融入人们的日常生活和社会活动的各个领域.在无线传感器网络中,每个物体都具有唯一的标识,并且嵌入或装备射频识别(RFID)、传感器等信息传感设备,以此为基础形成了人与物、物与物之间全新的通信交流方式.可以说,无线传感器网络的出现将虚拟世界与现实世界结合在一起,从而实现人类社会与物理世界真正意义上的融合.通常情况下,无线传感器网络是不能完全独立工作的,而是需要通过中间件连接外部网络来形成完整的无线传感器网络应用系统.因此,中间件技术的研究对整个无线传感器网络应用系统来说是必不可少的,并且有着极其重要的地位,其与整个无线传感器网络应用系统的关系如图 1 所示[1-2].

无线传感器网络应用系统的中间件类似于一种转换器,具有效率高、响应及时、可靠性高、功耗低、抗干扰能力强等特点,同时具有很好的通用性.对于传感器网络应用系统来讲,它是连接无线传感器网络与互联网的桥梁,承担着无线传感器网络和远程控制中心信息交换的任务.传统的中间件能够很好地实现无线传感器网络和控制中心的连接,但是这些中间件是针对单一无线传感器网络而设计的,不能有效地部署在同时具有多种传感器网络的环境中,更不能实现连接异构的无线传感器网络功能.本文所设计的中间件系统不但能够很好地连接多种异构传感器网络,为多种无线传感器网络技术的融合提供了一种可能,而且在中间件系统中的各个主要部件实现了一种支持多跳的 Adhoc 类型的网络,很大程度上加强了数据监测区域的物理范围,便捷了应用系统同时对多个监测区域的监测[3-4].

1 中间件的总体设计

本文所设计的无线传感器网络应用系统的中间件从物理结构上来看,主要由 Adhoc 网关和 WSN 网关组成.WSN 网关主要负责无线传感器网络和 Adhoc 网络的连接和传感器数据的上传,Adhoc 网关负责 Adhoc 网络和 Internet 的连接.中间件物理结构如图 2 所示.

从逻辑层次角度看,中间件主要是由网络层和数据采集存储层组成.1)网络层包括 Adhoc 网关与远程 PC、WSN 网关与 Adhoc 网关

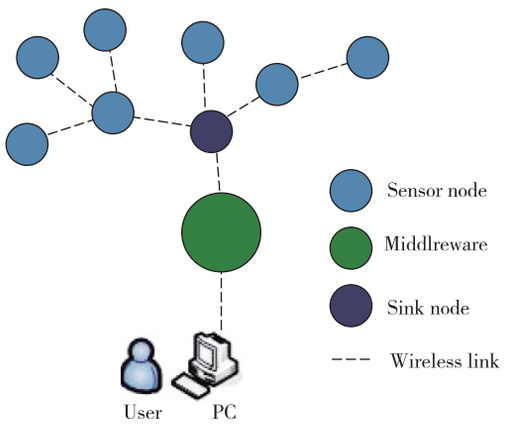


图 1　中间件和应用系统的关系

Fig. 1　Relationship between middleware and application system

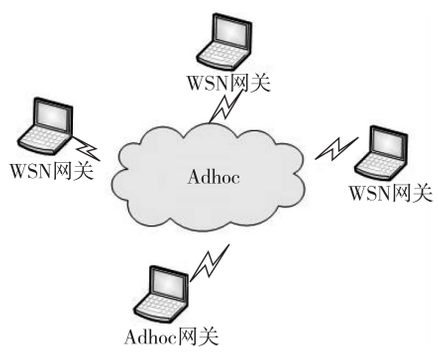


图 2　中间件物理结构

Fig. 2　Physical structure of middleware

和 WSN 网关与无线传感器网络之间的通信.Adhoc 网关和远程 PC 主要通过以太网或者 3G 网络进行通信,WSN 网关与无线传感器网络之间通过 RS232 进行通信,而在 Adhoc 网关和 WSN 网关之间通信则是通过 Adhoc 网络进行的.由于前 2 种通信技术比较成熟,所以本文着重对 Adhoc 网络进行了研究,并成功搭建了该网络.2)数据采集存储层实现了无线传感器网络采集数据的存储和转发的功能.在该层主要包括原始数据接收器、数据分析器、数据库数据形成器、新数据包形成器、数据包发送器.原始数据接收器不断从串口读取无线传感器网络的采集数据,这些数据通过分析器的分析一方面存储到数据库中,另一方面则形成新的数据包发送给远程控制中心[5-6].逻辑层次如图 3 所示.

2　Adhoc 网络的实现

Adhoc 网络在整个中间件系统中占据了重要的地位,承担着中间件各个模块之间的网络通信任务.选择合适的路由协议,对网络的稳定性有着巨大的促进作用.下面针对路由协议的选择、移植和网络的搭建做详细的阐述.

2.1　路由协议的仿真

本文将在 Ubuntu11.04 操作系统下,使用 NS-2.35 对 Adhoc 网络中 2 种典型的路由协议 AODV 和 DSR 进行模拟仿真,并分析无线网络中非常重要的 2 个性能指标,即丢包率和端到端平均时延.通过分析比较 ADOV 和 DSR 在不同环境下(通过改变节点暂停时间和业务量)的性能表现来说明 AODV 路由协议的性能优势.

本文的仿真场景是创建一个大小为 1 000 m×500 m 的矩形区域,区域中具有 50 个移动节点,每个节点的移动速度是 0~20 m/s 之间的一个随机值,然后随机选出 20 对通信连接,还要建立 30 对连接

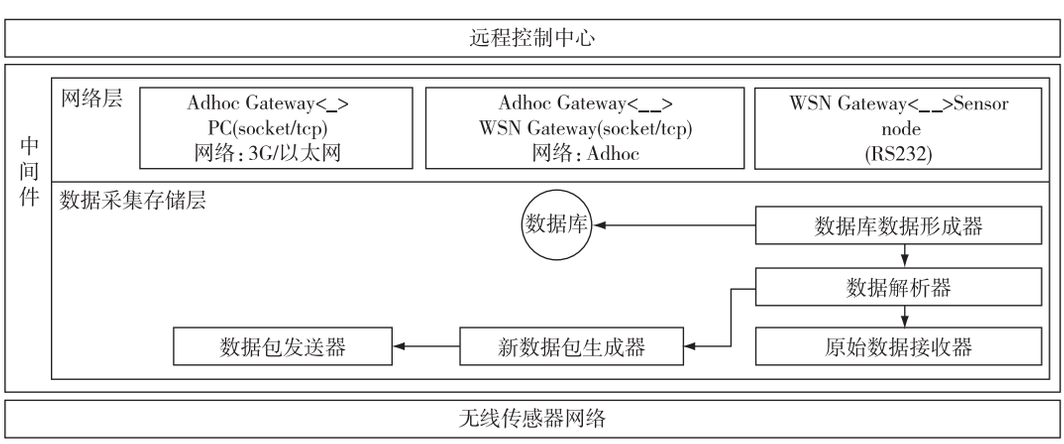


图 3　中间件框架

Fig. 3　Framework of middleware

的场景,分别用来模拟网络在较低和较高业务负载下的不同情况.每对节点之间的数据发送速率是每秒 2 个分组,因为本文采用的是 cbr 分组,而 cbr 是指固定比特率的分组,所以每个分组的大小是 512 bit,仿真时间一共是 300 s.表 1 给出了仿真的具体参数.

表 1　仿真参数

Table 1　Simulation parameters

仿真区域	1 000 m×500 m
仿真时间/s	300
移动节点数/个	50
移动节点速度/(m/s)	0~20
物理信道类型	Channel/WirelessChannel
MAC 层类型	Mac/802_11
仿真协议	AODV/DSR

2.2　性能分析

图 4、5 中横坐标表示的是移动节点的停留时间 p,此时间和仿真时的节点运动有关.节点的运动模型是这样的,每个节点会在固定的范围内选择一个目的地,然后以固定的速度向目的地运动,到达目的地之后会停留一段时间,然后再随机选择一个目的地继续运动.这样,在同一点停留的时间越短,节点的移动性就越大,网络拓扑的变化就越频繁.当 p 为 0 s 时,代表节点一直在运动,网络拓扑变化最频繁;反之,当 p 为 300 s 时,节点几乎就是静止的,网络拓扑也几乎不变.纵坐标代表性能参数.这样画图便于观察出网络拓扑变化频率对路由协议各种性能的影响.

本文使用 Gnuplot 对仿真出的性能数据进行绘图,下面就结合仿真图来分析性能.

1）丢包率

丢包率即丢失数据包的数量占已发送数据包的比例.结合图 4a 和 4b,随着节点移动性的减弱,2 种协议的丢包率都在减小,在业务量比较低的情况下,DSR 的丢包率要低于 AODV,当业务量较高时两者的丢包率都会增加,但是 DSR 协议的性能会损失得非常厉害,而 AODV 协议的丢包率增加就相对较少,可以说 AODV 协议更适合网络负载较高的环境.

2）端到端的平均时延

结合图 5a 和 5b 分析,随着节点移动性的减弱,DSR 协议的时延在总体上是在减小的,而 AODV 协议的时延性能几乎不受节点移动性的影响,表现得非常稳定.除了在图 5a 中停留时间为 300 s 的点,AODV 的时延均小于 DSR,而且在业务量较高、网络拓扑变换频繁的情况下性能领先更加明显,比如在图 5b 中的 0 这一点,DSR 的时延甚至是 AODV 的 10 倍以上,可以说 DSR 的时延特性很不理想.当网络拓扑很稳定的情况下,DSR 的性能表现才比较接近 AODV,因此可以说 DSR 只适合于节点移动性几乎为 0 的网络.

2.3　仿真结果总结

通过对 DSR 和 AODV 2 种协议的仿真,可以看出随着网络负载的增加,2 种协议的性能大体上是降低的,在丢包率方面 AODV 协议在数据流量大的网络中性能较好,而在数据流量较小的网络中 AODV 的性能虽然落后于 DSR,但是也能满足要求.在平均时延方面,AODV 协议的性能非常理想,而 DSR 的性能则受节点移动性影响过大,尤其是在网络负载高和移动性强的情况下,平均时延非常明显,落后 AODV 较多.综上分析,AODV 延迟低的优势非常明显,而且 AODV 协议的适用性也更强,所以说

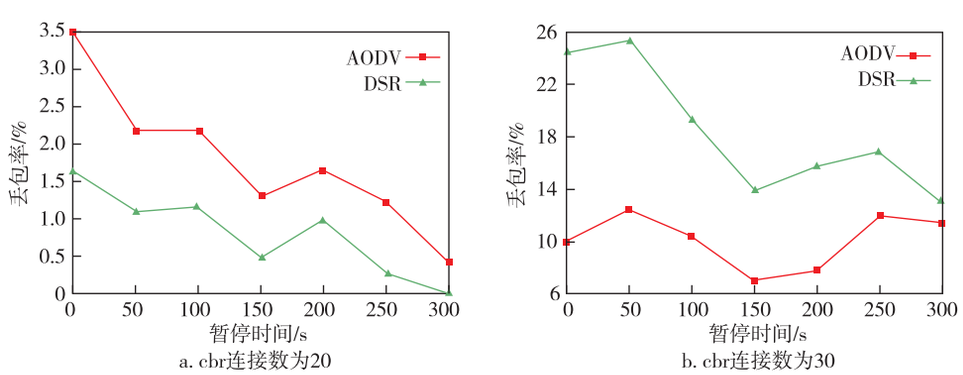


图 4　丢包率曲线

Fig. 4　Packet loss rate curve

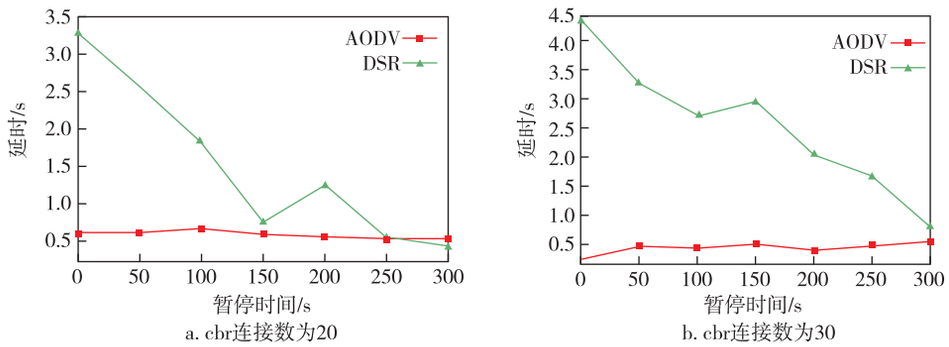


图 5　平均时延曲线

Fig. 5　Average delay curve

AODV 协议的综合性能是强于 DSR 的.在网络负载低、移动性不强的网络中,2 种协议都可以使用,但是从移动性和高负载的角度来考虑,AODV 协议更佳.鉴于 AODV 路由协议性能较好又便于实现,所以中间件选择在 Linux 嵌入式平台上移植 AODV 协议[7-8].

2.4　AODV 路由协议的移植

移植步骤主要分为以下几个部分:一是移植 AODV 路由协议,本网络选择了 aodv-uu-0.9.5 作为路由协议,主要是通过交叉编译器编译出 aodv-arm.ko 和 aodv-arm;二是通过 ifconfig eth1 ip 地址,ifconfig eth1 up,iwconfig eth1 mode Adhoc,iwconfig eth1 essid 服务区别号这几条命令来配置无线网卡工作模式为 Adhoc 模式;三是动态地把 aodv-arm.ko 模块插进网关的内核;四是执行 aodv-arm 路由协议.这几个关键步骤完成之后整个的 Adhoc 网络就搭建完成[9].

2.5　AODV 路由协议的多跳测试

如果要形成一个多跳的 Adhoc 网络至少需要 3 个节点,所以本文把 2 个 PC 作为两端的节点,嵌入式节点作为路由.通过 echo " 1" >/proc/sys/net/ipv4/ip_forward 这一命令手动开启嵌入式节点的路由转发功能,通过 iptables —A INPUT —m mac —mac-source e0:2a:82:72:79 —j DROP 这一命令,过滤网卡的 MAC 地址,这样收到此 MAC 地址的包就会直接被过滤掉.物理上来看 2 台 PC 是没有连通的.2 台 PC 的 ip 分别设置为 192.168.1.2 和 192.168.1.3,然后直接相互 ping 是不通的.通过:insmod kaodv.ko;scan-wifi;iwconfig wlan0 mode ad-hoc;iwconfig wlan0 essid adhoc;ifconfig wlan0 192.168.1.1;./aodvd & 这些指令实现嵌入式中继器的运行.

3　中间件应用程序的开发

采用 C/S 架构进行中间件应用程序的开发,WSN 网关作为 Adhoc 客户端,Adhoc 网关作为中转服务器,PC 作为远程服务器.主要实现以下功能:WSN 固定频率上传一次数据给 WSN 网关,WSN 网关接收并存储数据,最后再发送数据给 Adhoc 网关,Adhoc 网关接收数据并传送给远程服务器.下面将详细地说明这 2 种类型网关的实现.

3.1　Adhoc 网关的实现

在本设计中 Adhoc 网关作为中转服务器,负责 2 个异构网络(无线传感器网络与公网)之间的数据转发.整个工作流程如图 6 所示.主线程主要负责和 Adhoc 客户端连接,通过 accept()函数不断地监听客户端的连接请求,一旦客户端有请求,主线程就在 fds[]套接字数组里存放相应的客户端套接字.由于在 TCP 连接中,recv 等函数默认为阻塞模式(直到有数据到来之前函数不会返回),所以使用 setsockop()函数进行超时机制的设置,使其在一定时间后返回而不管是否有数据到来.fig 是一个全局变量,初始值为 0,如果是第一次进入循环那么主线程就会创建 recvfromclient 线程,该线程主要负责与 WSN 网关的信息交换.当中转服务器接收到客户端上传的数据包时,中转服务器会把数据包发送给 PC 端,相反中转服务器接收到 PC 服务器端数据包也会把相应的包通过广播的方式发送给每一个 WSN 网关.主线程的部分代码[10-11]如下:

```
while(1){
client_fd=accept(sockfd,(struct sockaddr *)&remote_addr,
&sin_size);
```

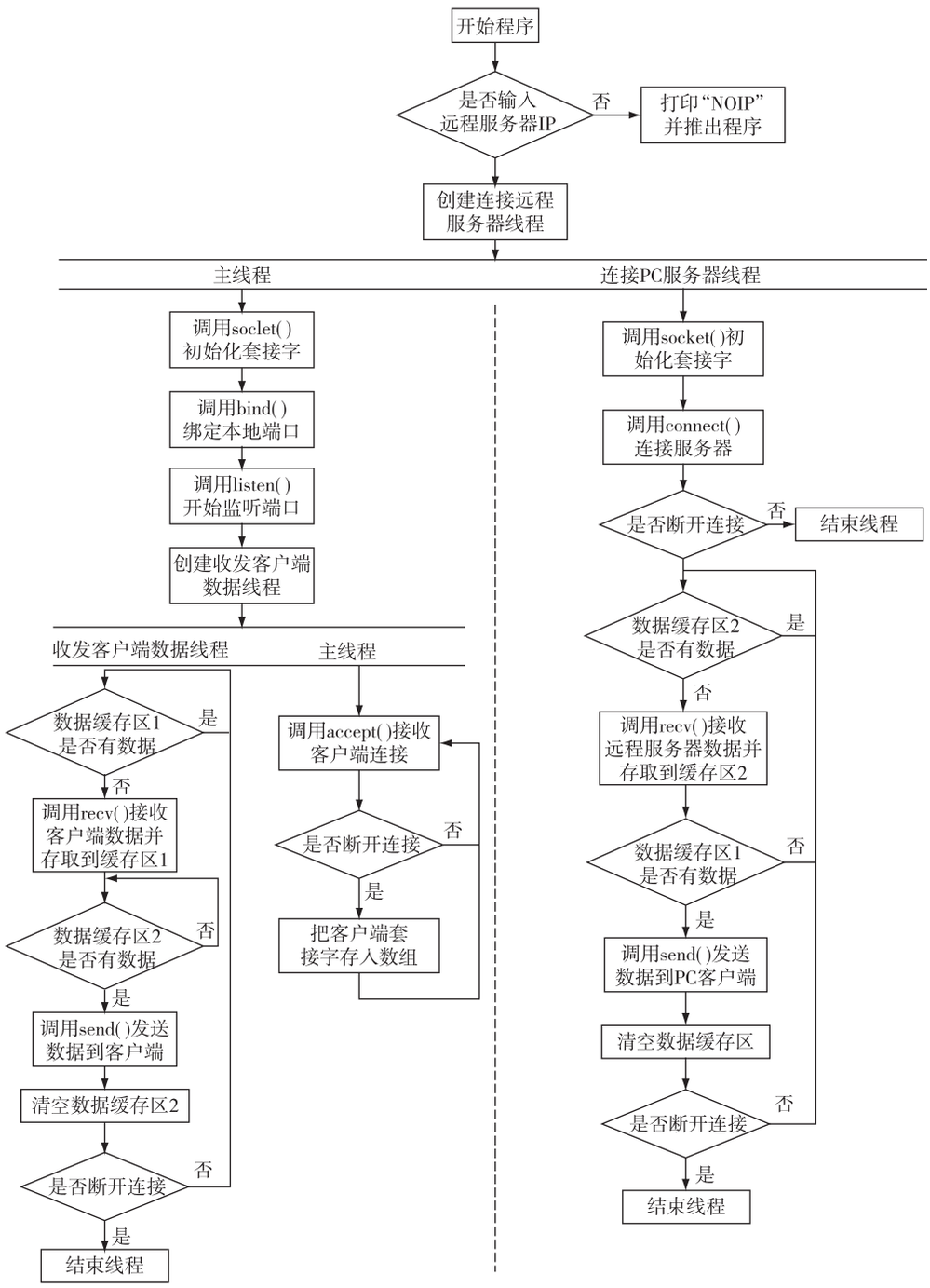


图 6　中转服务器软件流程

Fig. 6　Software process of transit server

```
    if(client_fd ! =-1){
     client_fds[clients]=client_fd;
     setsockopt(client_fd,SOL_SOCKET,SO_RCVTIMEO,
&tv_out,sizeof(tv_out));
     clients++;
    }
    if(fig==0){
     pthread_create(&ntid,NULL,recvfromclient,NULL);
     fig=1;
    }
   }
```

3.2　WSN 网关软件设计

WSN 网关软件主要负责接收、解析、存储和发送无线传感器网络上传的数据包.WSN 网关和 WSN

协调器通过串口相互交换信息,WSN 网关不断地从串口读取协调器上传的数据,一方面解析数据包并存储到数据库以供日后查询,另一方添加 WSN 网关的 IP 到数据包,重新封装数据包发送给中转服务器,以提供 PC 端对数据包的分析[12-14].程序流程如图 7 所示.

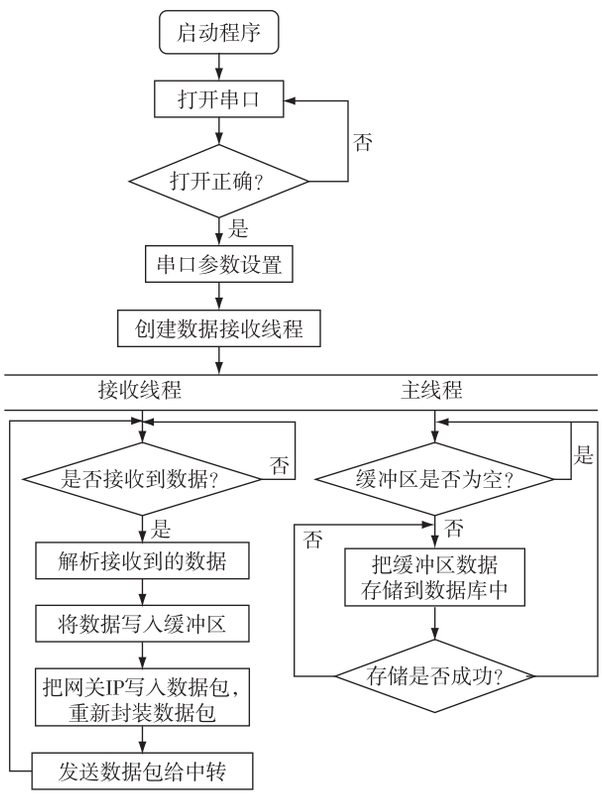


图 7 WSN 网关上传数据软件流程

Fig. 7 Software process of uploading data of WSN gateway

存储部分数据到数据库的核心代码如下:

```
time_t t;
t=time(NULL);
char * sql_insert = sqlite3_mprintf( " insert into sensor values (´%ld´,´%d´,´%d´,´%d´,´%d´,´%d´,´%.1f´,´%d´);" ,t,buff_out[0],buff_out[1],buff_out[2],buff_out[3],buff_out[4],,buff_out[5],,buff_out[6]);
```

4 结束语

本文设计了一种无线传感器网络的中间件,实现了监测区域数据的上传和存储的功能,为连接异构的无线传感器网络提供了一种可靠的解决方案,并且本方案已经在具体的项目中得到了应用.经测试该中间件工作稳定,数据传递延时小.

参考文献

References

[1] 崔逊学,赵湛,王成.无线传感器网络的领域应用与设计技术[M].北京:国防工业出版社,2009
CUI Xunxue,ZHAO Zhan,WANG Cheng.Field applications and design technologies of wireless sensor networks[M].Beijing:National Defense Industry Press,2009

[2] Culler D,Estrin D,Srivastava M.Guest editors' introduction:Overview of sensor networks[J].IEEE Computer Society,2004,37(8):41-49

[3] 黄俊杰,王汝传,沙超.面向 WLAN 的无线传感器网络网关设备及其接入机制[J].中兴通讯技术,2009,15(5):11-15
HUANG Junjie,WANG Ruchuan,SHA Chao.Gateway device and access mechanism for WLAN in wireless sensor networks[J].ZTE Communications,2009,15(5):11-15

[4] 蔡皓,冯仁剑,万江文.具有多种通信方式的无线传感器网络网关[J].传感技术学报,2008,21(10):169-173
CAI Hao,FENG Renjian,WAN Jiangwen.Wireless sensor network gateway with multi-communication methods[J].Chinese Journal of Sensors and Actuators,2008,21(10):169-173

[5] Wang M M,Cao J N,Li J,et al.Middleware for wireless sensor networks:A survey[J].Journal of Computer Science and Technology,2008,23(3):1-7

[6] Hadim S,Mohamed N.Middleware:Middleware challenges and approaches for wireless sensor networks[J].IEEE Distributed Systems Online,2006,7(3):1-26

[7] 李晶,吴蒙.Adhoc 网络与 PSTN 互联技术的研究[J].南京邮电大学学报:自然科学版,2006,26(4):1-4
LI Jing,WU Meng.Research on the integration of Adhoc network and PSTN[J].Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications:Natural Science,2006,26(4):1-4

[8] Perkins C,Royer E B,Das S.Adhoc on demand distance vector (AODV) routing[S].RFC3561,20

[9] Karim Yaghmour,Jon Masters,Gilad Ben-Yossef,et al.构建嵌入式 Linux 系统[M].韩存兵,龚波,译.北京:中国电力出版社,2004
Karim Yaghmour,Jon Masters,Gilad Ben-Yossef,et al.Building embedded Linux systems[M].Beijing:China Electric Power Press,2004

[10] 康一梅.嵌入式软件设计[M].北京:机械工业出版社,2007
KANG Yimei.Embedded software design[M].Beijing:China Machine Press,2007

[11] 郑灵翔.嵌入式 Linux 系统设计[M].北京:北京航空航天大学出版社,2008:195-200
ZHENG Lingxiang.Embedded Linux system design[M].Beijing:Beihang University Press,2008:195-200

[12] 刘刚,赵剑川.Linux 系统移植[M].北京:清华大学出版社,2011
LIU Gang,ZHAO Jianchuan.Linux system transplantation[M].Beijing:Tsinghua University Press,2011

[13] Gene Sally.Linux 嵌入式系统高级程序设计[M].郭旭,译.北京:人民邮电出版社,2010
Gene Sally.Pro Linux embedded systems[M].Posts & Telecom Press,2010
[14] Stevens W R,Stevens A R.UNIX 环境高级编程[M].尤晋元,张亚英,戚正伟,译.北京:人民邮电出版社,2006
Stevens W R,Stevens A R.Advanced programming in the UNIX environment[M].Beijing: Posts & Telecom Press,2006

Middleware design and implementation in wireless sensor network

LIU Rong[1] ZHOU Jie[2] DU Jinglin[2] ZHENG Ruoqin[2]
1 School of Information and Control,Nanjing University of Information Science & Technology,Nanjing 210044
2 School of Electronic & Information Engineering,Nanjing University of Information Science & Technology,Nanjing 210044

Abstract In order to reduce the complexity of the access to heterogeneous sensor network data.This paper presents the design of a wireless sensor network middleware by studying a heterogeneous network of wireless sensor network access technology.The program is based S3C6410-based embedded processor development board as hardware development platform.WSN gateway and the Adhoc gateway formed the Adhoc type of network by AODV routing protocol. Thus solve the problem of wireless sensor networks with the outside public network connection.The program achieves wireless sensor network data upload to a remote server.While providing a reliable solution for a number of sensor networks at the same time access the external network.

Key words heterogeneous;wireless sensor networks(WSN);embedded;Adhoc;middleware