

# 无线传感器网络在环境应急车中的设计与应用\*

倪继峰, 朱 华, 姚明海, 沈君黎

(浙江工业大学 信息工程学院, 杭州 310023)

**摘要:** 针对传统的环境应急车获取现场数据耗时、复杂、不够灵活的缺点, 提出了利用 ZigBee 无线传感器网络对污染现场进行数据采集和实时监测的方案。该方案将传感器终端布置于污染现场进行监测, 并将监测的数据通过 ZigBee 无线通信协议传输给路由器、协调器, 最终把数据提交给上位机软件进行分析整理并导入数据库。硬件上采用 C8051F340 微控制器与 XBee-PRO 无线模块相结合设计各节点。本设计功耗低、体积小、成本低, 使用方便, 适用于环境应急车对污染现场的监测。

**关键词:** 环境应急车; 无线传感器网络; ZigBee

**中图分类号:** TP29

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-3695(2010)07-2692-05

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.07.082

## Design and applications of wireless sensor network in environmental emergency vehicle

NI Ji-feng, ZHU Hua, YAO Ming-hai, SHEN Jun-li

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

**Abstract:** The methods of traditional environmental emergency vehicles collecting field data were time-consuming, complex and inflexible. This paper presented a program of pollution field data collection and real-time monitoring using ZigBee wireless sensor network. Set the sensor terminal to the pollution region and detected, transmitted the field data to router and coordinator by the ZigBee wireless communication protocol. Finally, processed environmental monitoring data and imported to database by software. Designed each node in hardware with C8051F340 microcontroller and XBee-PRO RF module. The design of low power, small size, low cost and convenient, is suitable for environmental emergency vehicles to monitor on-site data.

**Key words:** environmental emergency vehicle; wireless sensor network; ZigBee

### 0 引言

近几年,随着工农业和国民经济的发展,我国突发性环境事件频发,尤其是一些重大、特大环境污染事件严重威胁人民的生命财产安全,并造成了重大的社会经济损失。因此,环保成为各行各业的工作重点,环境应急车也应运而生,用于对突发性环境污染事件的处理。但是,国内外的环境应急车在获取现场数据,如污染物种类、污染物浓度、污染的范围等,都是通过环境监测人员在事故现场通过小型、便捷的仪表进行采样分析,预测污染发展的趋势,从而对下一步的工作作出决策。这样,虽然在一定程度上取得了成效,但还是存在以下不足:a)环境监测人员的人身安全没有保障;b)对污染监测实时性不够;c)污染区域不够明确,因为污染源有可能在不断扩散,而且扩散的速度受多种因素影响。

针对以上不足,本文提出了利用无线传感器网络来对污染现场的相关数据进行采集和实时监测。无线传感器网络(wireless sensor network, WSN)是通信技术、计算机技术、传感器技术和网络技术相结合的产物,其最大的优势在于低成本、低功耗,无须基站、线缆等基础设施,使网络部署更方便。在无线传感器网络中常用的无线通信技术包括红外、Bluetooth(蓝

牙)、Wi-Fi、ZigBee等。其中,红外技术易受遮挡,可移动性差,无法灵活构建网络;蓝牙技术协议复杂、开发成本高、功耗大;Wi-Fi技术成本高、功耗大、安全性能低<sup>[1]</sup>;ZigBee技术是一组基于IEEE 802.15.4无线标准研制开发的有关组网、安全和应用软件方面的通信技术,具有低功耗、短延、高安全性等技术优势。除此之外,ZigBee技术还具有以下特点:a)网络的自组织、自愈能力强。无须人工干预,网络节点便能感知其他节点的存在,并确定连接关系,组成结构化的网络。在增加、移动、删除节点或节点发生故障时,网络都能够自我修复而无须人工干预,保证整个网络仍然能正常工作。b)成本低廉。设备的复杂程度低,且ZigBee协议是免专利费的,这些可以有效地降低设备成本,而且ZigBee的工作频段灵活,为免执照频段的2.4 GHz,也就是没有使用费的无线通信。c)网络容量大。一个ZigBee网络可以容纳最多65 535个网络节点<sup>[2]</sup>。

ZigBee技术的诸多特点和优点使得ZigBee无线传感器网络在国内外环境监测方面的研究和应用越来越受到青睐,成为当今国际备受关注的的前沿热点领域。在国外,ZigBee无线传感器网络对海洋水文环境的监测以及大气污染的监测等方面取得了良好的效果,为保护海洋生态和改善大气质量作出了贡献。在国内,随着对ZigBee无线传感器网络的进一步深入和

收稿日期:2009-12-08;修回日期:2010-01-12 基金项目:浙江省教育厅基金资助项目(20070311)

作者简介:倪继峰(1985-),男,浙江长兴人,硕士研究生,主要研究方向为无线传感器网络、嵌入式系统(nj1107@163.com);朱华(1974-),男,实验师,硕士,主要研究方向为无线传感器网络、嵌入式系统;姚明海(1963-),男,教授,博士,主要研究方向为模式识别、智能信息处理和系统、制造业信息化;沈君黎(1984-),男,硕士研究生,主要研究方向为无线传感器网络、嵌入式系统。

普及,已经在温室环境远程监控、水库水位监测以及水体污染物监测等方面取得了成功,对我国的环保事业具有重大的战略意义<sup>[3]</sup>。综上所述,ZigBee 无线传感器网络的特点和优点能更好地满足环境应急车对污染现场的监测,能实时地将污染现场各区域的相关数据传送到环境应急车,专家及环境监测人员只需在车内就能对现场了如指掌,为污染事故及时、正确地进行处理、处置和制定恢复措施提供科学的决策依据。而且,ZigBee 无线传感器网络与环境应急车的结合是 ZigBee 无线传感器网络的又一典型应用,更加有利于对环境生态的保护。

## 1 无线传感器网络节点设计方案

无线传感器网络节点是组成无线传感器网络的基本单位,是构成无线传感器网络的基础平台,它的设计直接影响到整个无线传感器网络的性能。无线传感器网络节点的设计需要考虑以下几个方面:a)网络节点在体积上应该足够小,以便携带和布置;b)网络节点在功耗上应尽可能低,特别是在室外工作的网络节点采用电池供电,低功耗可以延长节点的工作时间,保证节点的稳定工作;c)硬件的稳定性要求网络节点的各个部件都能够在一定的温度、湿度、压力等外部条件下保证正常的功能,在恶劣的条件下不被损坏;d)网络节点拥有低成本优势,以便大量布置在目标区域中<sup>[4,5]</sup>。

### 1.1 无线传感器网络节点的硬件设计

无线传感器网络节点一般包括电源模块、微控制器模块和无线通信模块。其中:电源模块为无线传感器网络节点提供多种电源输入方式,同时能监控电源电压运行状态;微控制器模块负责控制传感器网络节点的操作,存储与处理自身采集的数据以及其他节点发来的数据,并控制整个网络的节点运行;无线通信模块负责与其他网络节点通信,交互控制信息和收发数据业务<sup>[6]</sup>。

#### 1.1.1 硬件设计总体框图

无线传感器网络节点采用 C8051F340 单片机作为微控制器, ZigBee 射频模块采用 XBee-PRO 无线射频模块,电源模块采用双供电模式,每个节点可以通过 RS-232 与 PC 机或应急仪表相连接,节点上还设计了电源指示灯、电池低电指示灯、数据发送指示灯、数据接收指示灯,以便清楚了解节点的工作状态。硬件设计如图 1 所示。

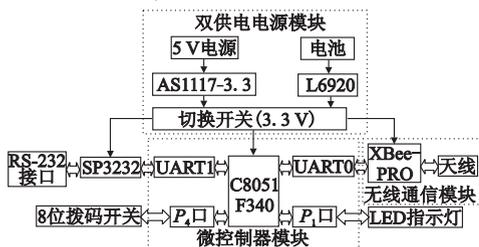


图1 无线传感器网络节点结构图

#### 1.1.2 双供电电源模块设计

电源模块是节点正常工作的有效保障,由于本设计应用于环境应急车对污染现场的监测,无线传感器网络节点工作的环境不只在室内,更多的时候是在室外,解决在室外对节点供电是电源模块设计的重点。在室外,可以有太阳能供电、干电池供电等多种形式,但是,太阳能供电虽然可以使节点工作周期更长,但是电路设计复杂,成本较高。考虑到节点功耗比较低,本设计利用干电池升压供电,电路简单可靠、成本较低,只需要

1~2节干电池就能让系统稳定工作。当然,模块还设计了电源供电,可以将5V电源转换成3.3V为节点供电,当节点在室内工作时,就可以节省电池能量,更方便、更环保。双重供电电源模块保证了节点的稳定工作,电源模块电路图如图2所示。

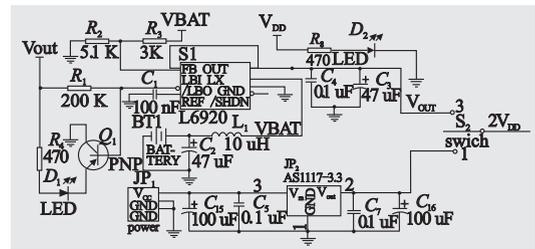


图2 电源模块图

图2中,降压芯片选用AS1117-3.3,可以将5V的电源电压降至3.3V,为无线传感器网络节点供电。升压芯片选用L6920,此芯片可以将两节干电池的3V电压升至3.3V。LBI引脚是电池低电压检测输入,内部阈值设置1.23V,当然也可以通过电阻分压以调整所需的低电压阈值:

$$V_{LBI} = 1.23 \text{ V} \times (1 + R_3/R_2)$$

根据经验,电压降至2V左右时,电路就处于缺电状态,因此,R<sub>2</sub>的阻值选用5.1K,R<sub>3</sub>的阻值选用3K,此时LBI的低电压阈值变为1.95V。LBO为低电压检测输出,当LBI的电压降至1.95V时,LBO输出低电平,PNP导通,D<sub>1</sub>就会点亮,因此,D<sub>1</sub>就是电池电源缺电的指示灯。由于LBO是漏极输出,要加一个200K的上拉电阻。

#### 1.1.3 微控制器选型

微控制器模块具有控制网络节点数据收发以及对接收的数据进行分析处理等功能,是网络节点硬件设计的核心,所以在网络节点的设计中,微控制器的选择至关重要。由于无线传感器网络节点在室外工作时只能携带有限的能量,所选择的微控制器功耗应尽可能低;芯片体积尽可能小,因为芯片的体积间接决定了无线传感器网络节点的体积。除此之外,还需要芯片的成本尽可能低,片内集成较大容量的存储器。

本设计采用Silicon Labs公司的C8051F340微控制器,该芯片具有与8051指令集完全兼容的CIP-51内核,在速度功能等方面完全优于8051芯片,是当前8位机中品质顶尖的产品。C8051F340微控制器还具有以下特点:功耗低,工作电压3.3V;芯片具有UART0和UART1两个串口;片内集成了数据采集和控制系统中常用的模拟部件,并能方便地通过数字交叉开关将内部数字系统资源定向到外部I/O口上;高达25 MIPS的执行速度,强大的模拟信号处理和资源控制功能;64KB的可编程Flash和4352B(256+4KB)的RAM;提供全速非侵入式的在线系统调试;芯片采用流水线技术,70%指令的执行时间为1或2个系统时钟周期,为有关监控电路的监控与切换创造了非常有利的条件;片内的看门狗电路,电源监视电路等可靠的安全机制保证了电路工作的稳定<sup>[7]</sup>。

选择C8051F340作为节点的微控制器,不但因为其功耗低、存储器容量满足设计要求,而且还在于它所需要的外围功能电路少、接口简洁、封装性好。

#### 1.1.4 ZigBee 射频模块

如今,随着ZigBee技术的发展和无线网络的普及,已有多家公司推出自己的ZigBee射频模块。经过市场调研,Digi公司生产的XBee-PRO模块具有功耗低、集成度高、传输距离较

远、稳定性好、接口简单等许多优点,所以是本设计的理想 ZigBee 射频模块。该模块设计满足 IEEE 802.15.4 标准,工作频率 2.4 GHz,模块的基本性能参数如下:发送功率为 10 mW,接收灵敏度为 102 dBm,室内传输距离为 100 m,室外传输距离为 1.6 Km,RF 数据传输率为 250 Kbps;在 3.3 V 电源下,发送电流为 295 mA,接收电流为 45 mA。在网络性能方面,具有 DSS (直接序列扩频)功能,可以组成对等网、点对点及点对多点网络,12 个软件可选的直接序列信道,每个信道具有 65 000 个可用网络地址等。

XBee-PRO 模块内部还有集成的 UART 接口,内部数据流程如图 3 所示。



图3 XBee-PRO模块的内部数据流程图

当串行数据通过 DIN 引脚进入 XBee-PRO 模块后,数据会先存储在 DI 缓冲器中,直到被发送器通过天线发送出去;当天线接收 RF 数据后,接收数据先进入 DO 缓冲器,然后再送入主机中。在一定条件下,模块可能无法立即处理 DI 缓冲器中的数据,这时如果有大量的数据进入 DI 缓冲器,CTS 就会向主机发送信号,以此来避免因大量数据输入而造成 DI 缓冲器溢出的问题。同理,在模块无法立即处理 DO 缓冲器中的数据,而天线接收的大量 RF 数据又不断进入 DO 缓冲器,这时 RTS 就会向 XBee-PRO 模块发送信号,以此来避免 DO 缓冲器溢出的问题<sup>[8,9]</sup>。

XBee-PRO 模块内部集成的 UART 接口可以与 C8051F340 微控制器的串口 0 直接连接,简单方便。XBee-PRO 模块与 C8051F340 微控制器的连接图如图 4 所示。

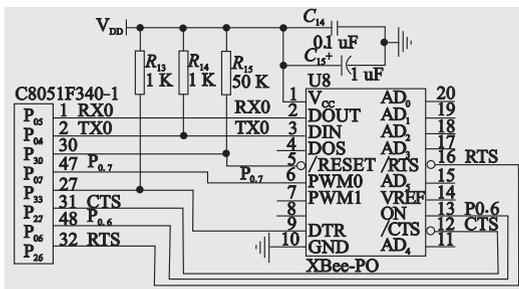


图4 XBee-PRO与C8051F340连接图

XBee-PRO 有空模式、接收模式、发送模式、睡眠模式和命令模式五种操作模式。每一种操作模式都有 AT/透明方式和应用程序接口 (API) 方式两种操作方式。当工作在 AT/透明方式时,模块可起到替代串口线的作用,并以字节为单位来处理各种信息;当工作在 API 方式下,所有进出模块的数据均被包含在定义模块的操作和事件的帧结构中。

### 1.2 无线传感器网络节点的软件设计

数据的发送有直接发送和间接发送两种方式。直接发送是将数据由源模块直接发送给目标模块;间接发送是只有当目标模块发出请求时,再将保存在源模块中的数据发送出去,间接发送只能用于协调器和路由器,而不能用于终端设备。

ZigBee 协议一次只允许发送一帧数据,发送数据的流程如下:a)通过 ZigBee Ready()为 True 来确定应用层已准备好发送数据;b)锁定系统 ZigBee Block Tx(),随后 ZigBee Ready()

将返回 False;c)把数据存到数组 Tx Buffer 中,并用 Tx Data 作为索引。将数据存储完后,Tx Buffer 的值就等于数据的长度;d)加载 APSDE\_DATA\_request;e)将 APSDE\_DATA\_request 的值赋予 current Primitive。发送数据的程序如下:

```

if (ZigBeeReady())
{
//发送数据给网络地址为 destinationAddress 的节点
if (myStatusFlags.bits.bmyBottonWasPressed)
{
myStatusFlags.bits.bmyBottonWasPressed = False;
//锁定系统,使得后续调用 ZigBeeReady() 返回 False
ZigBeeBlockTx();
//装载数据
TxBuffer[ TxData ++ ] = 0x0a;
//使用单播,16 位网络地址
params.APSDE_DATA_request.DstAddrMode = APS_ADDRESS_16_BIT;
//节点的目的地址
params.APSDE_DATA_request.DstAddress.ShortAddr = destinationAddress;
params.APSDE_DATA_request.DstEndPoint = destinationEndPoint;
//用 profileID 和 ClusterID 来举例
params.APSDE_DATA_request.ProfileId.Val = MY_PROFILE_ID;
params.APSDE_DATA_request.ClusterId.Val = BUFFER_TEST_REQUEST_CLUSTER;
params.APSDE_DATA_request.SrcEndpoint = EP_BUTTON_APPLET;
params.APSDE_DATA_request.RadiusCounter = DEFAULT_RADIUS;
//选择路由
params.APSDE_DATA_request.DiscoverRoute = ROUTE_DISCOVERY_ENABLE;
params.APSDE_DATA_request.TxOptions.Val = 0;
//请求接收数据的节点发送正确应答
params.APSDE_DATA_request.TxOptions.bits.acknowledged = 1;
currentPrimitive = APSDE_DATA_request;
}
}

```

接收数据主要通过 APSDE\_DATA\_indication 来实现,当该函数有返回值时,APSDE\_DATA\_indication 就会将收到的数据存入缓冲存储器,然后通过 APLGet() 函数将信息从缓存存储器中按字节逐个提出,程序如下:

```

case APSDE_DATA_indication;
{
//currentPrimitive 的值在处理过程中可能会改变
currentPrimitive = NO_PRIMITIVE;
frameHeader = APLGet();
switch (params.APSDE_DATA_indication.DstEndpoint)
{
//处理所有发出的请求的 ZDO 应答
case EP_ZDO;
//包括所有的终端节点
break;
}
APLDiscard();
}
break;

```

节点的主程序流程如图 5 所示。

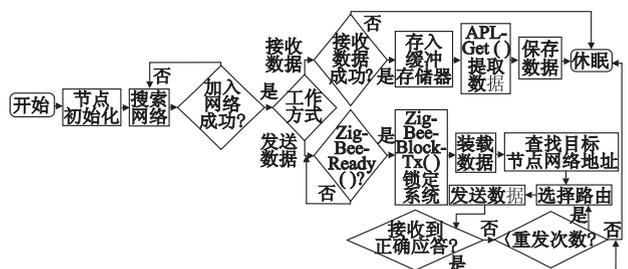


图5 无线传感器网络节点程序流程图

## 2 无线传感器网络在环境应急车中的应用

### 2.1 环境应急车无线传感器网络节点的路由算法

ZigBee 的路由功能主要为网络连接提供路由发现、路由选择、路由维护,路由算法是它的核心。由于设计的网络节点大都在室外通过电池供电工作,在选择路由算法的同时,考虑节点的能量控制显得非常重要。AODV 路由协议是一种基于距离矢量的按需路由算法,只保持需要的路由,而无须节点维持通信过程中未达目的节点的路由,是基于序列号的路由。Z-AODV 算法是基于路径的能量消耗的路由,考虑到节能、应用方便性等因素,简化了 AODV 的一些特点,但仍保持 AODV 的原始功能。它将使节点避免用尽所有能量以至于过早地失去作用。当节点想要选择路径时,它将考虑路径上的节点的剩余能量。它可以用于较大规模的网络,需要节点维护一个路由表,耗费一定的存储资源,但往往能达到最优的路由效率,而且使用灵活<sup>[10]</sup>。

Z-AODV 路由算法是对 AODV 路由算法的一种改进,从低功耗和低成本的角度考虑,更加适合室外工作的节点路由选择。

### 2.2 环境应急车无线传感器网络拓扑结构的选择

ZigBee 网络的拓扑结构主要有星型网、网状(mesh)网和混合网三种。星型网是由一个全功能节点和一个或多个终端节点组成的。全功能节点负责发起建立和管理整个网络,其他的节点(终端节点)一般分布在全功能节点的覆盖范围内,直接与全功能节点进行通信。星型网通常用于节点数量较少的场合。Mesh 网一般是由若干个全功能节点连接在一起形成,它们之间是完全的对等通信,每个节点都可以与它的无线通信范围内的其他节点通信。Mesh 网中,一般将发起建立网络的全功能节点作为协调器。Mesh 网是一种高可靠性网络,具有自恢复能力,它可为传输的数据包提供多条路径,一旦一条路径出现故障,则存在另一条或多条路径可供选择。Mesh 网可以通过全功能节点扩展网络,组成 Mesh 网与星型网构成的混合网,混合网中,终端节点采集的信息首先传到同一子网内的协调点,再通过路由节点上传到上一层网络的协调器。混合网适用于覆盖范围较大的网络<sup>[11,12]</sup>。

针对本系统是用在环境应急车上,终端节点可能分布在多个不同的区域,而且距离应急车比较远,而星型网络中节点的无线通信范围很小,网络覆盖范围有限,不利于网络功能的扩展;网状网络中的每个节点都可以作为路由节点,因此,源节点的数据流可以通过多个路径到达网络控制点。如果某一个节点与网络断开,数据流可以选择另一条路径进行传输,因此具有较强的可靠性。但网络中的设备都需是全功能设备,能量消耗大;混合网络结合了星形结构和网状结构的优点,不但可以降低节点的功耗,而且网络具有可扩展性,可以增加路由节点,扩展覆盖范围,因此选用混合网络作为环境应急车监测现场的网络拓扑结构,结构图如图 6 所示。

在图 6 中,终端节点、路由器和协调器在硬件设计上完全一样,它们的功能差异是由软件决定的。作为协调器的节点在无线传感器网络中只有一个,它包含所有的网络信息,存储容量大、计算能力强,在协调器上电后,便会立即建立网络,等待其他节点的加入。协调器通过路由器或直接向终端节点发送 PC 机的指令,同时还接收路由器转发的数据,然后将接收到的

数据提交给上位机软件进行分析处理并导入数据库,等待专家的处理。因此,它是整个网络的控制中心,管理整个网络的运行。当终端节点距离环境应急车较远时,就需要路由器的接力,路由器负责选择合适的路径转发终端节点采集的数据,以最短的距离和最快的速度将数据传给目标节点,并且还负责路由表的维护、实现与终端节点的网络通信。路由器也可以直接将数据传输给上位机软件。终端节点是无线传感器网络的底层节点,通过 RS-232 接口与现场仪表相连接,实时读取现场相关的参数。另外,终端节点也可以由路由器充当。

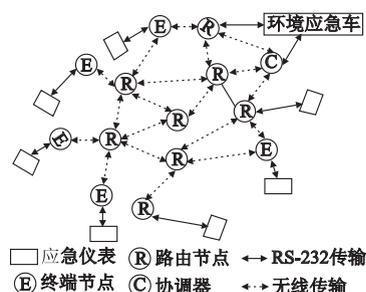


图6 无线传感器网络结构

### 2.3 无线传感器网络节点的配置

无线传感器网络节点的配置主要是对 XBee-PRO 模块的配置,通过 XBee-PRO 开发板与 X-CTU 软件相结合对不同网络节点的 XBee-PRO 模块进行配置。AT 模式下协调器的配置只要将 XBee-PRO 模块插入开发板,打开 X-CTU 软件进入 modem configuration,选择所用模块型号 XB24-ZB,在 function set 中选择 Zigbee coordinator AT,设置 PAN ID 网络标志,如 123,并设置一个 node identifier,比如 A;最后 write,将设置好的参数写入 XBee-PRO 模块。同理,路由器和终端节点的配置按照同样的方法进入 modem configuration,选择所用模块型号 XB24-ZB,在 function set 中选择 Zigbee router AT 或者 Zigbee end device AT,将 PAN ID 都设置成一样(123),node identifier 可以为 B, C。这样,协调器、路由器和终端节点就可以加入同一个网络进行数据通信。

XBee-PRO 模块的所有参数都可以通过 X-CTU 软件很直观地显示,而且参数修改十分方便,只需通过键盘直接输入。通过 XBee-PRO 开发板和 X-CTU 软件进行无线传感器网络节点的配置,无须编程,不但节省时间,而且效果明显。

### 2.4 网络自组织功能

自组织功能是 XBee-PRO 模块的一大优点,不但组网方便,而且可以节省时间,方便使用。每个 XBee-PRO 都有一个 PAN ID,当协调器选择一个信道和 PAN ID 并启动时,便建立了一个无线传感器网络。路由器和终端节点只要选择同一个信道和 PAN ID,便可以通过自组织加入该网络。路由器加入网络后,将收到一个 16 位的网络地址,并且能够发送和接收来自该网络内其他节点的数据。

ZigBee 无线传感器网络的自组织功能在环境应急车中的作用尤为突出。在环境应急事件发生后,终端节点、路由器节点和协调器被迅速布置到现场,这些节点一旦开启就会立即搜寻网络并且加入网络,为参数的采集和监测作准备,不但方便,而且节省了大量的时间。在污染源不断扩散时,需要增加更多的终端节点来监测更广泛的区域,这时只需将终端节点和路由节点布置到即将污染的区域和传输路径上,它们便会自动搜寻网络并加入网络,扩大网络覆盖范围和监测区域。当然在污染

源得到有效控制和治理时,就可以将污染区域外围的节点撤离,不但不影响监测区域的无线网络数据传输,而且可以节省不必要的节点能量消耗。

### 3 结束语

本文设计的基于 ZigBee 技术的无线传感器网络在环境应急车中的应用,使得在发生突发性环境污染事件时,对污染现场的数据采集更加方便、灵活、安全、可靠。但是,随着网络覆盖范围的扩大,网络的时延也相应变长。在接下来的工作中,数据传输的安全性、节点的节能策略都将是进一步研究的热点问题。

无线传感器网络与环境应急车的完美结合将为我国的环境事业带来更大的效益。ZigBee 技术还在不断完善,它具有低功耗、低成本、使用便捷、自组织等显著技术优势,必将有着广阔的应用前景。

#### 参考文献:

[1] 陈宁,边归国.我国环境应急监测车的现状与发展趋势[J]. 中国环境监测,2007, 23(6):41-45.

[2] 王超,达力,蒋文军.一种基于 WiFi 网络实现车载媒体传输的方案[J]. 科技创新导报, 2008, 36(7):14-16.

[3] 郭鹏,杨春晖,陈蕾,等.一种低功耗无线传感器网络节点设计[J]. 河北工业科技, 2009, 26(4):253-259.

[4] ZHANG Jun-guo, LI Wen-bin, HAN Ning, et al. Forest fire detection system based on a ZigBee wireless sensor network[J]. *Frontiers of Forestry in China*, 2008, 3(3): 369-374.

[5] 范国伟,杨刚.基于 ZigBee 技术的 XBee-PRO 模块在智能公交系统中的应用[J]. 电子元器件应用, 2009, 11(5):18-23.

[6] 王骥,王筱珍,任肖丽,等.基于无线传感器网络的水污染监测系统[J]. 桂林电子科技大学学报, 2009, 29(3):247-250.

[7] RUIZ-GARCIA L, BARREIRO P, ROBLA J I. Performance of ZigBee-based wireless sensor nodes for real-time monitoring of fruit logistics[J]. *Journal of Food Engineering*, 2008, 87(15): 405-415.

[8] ZHOU Hui-ling, CHEN Xue-chuan, LIU Xiang-dong, et al. Applications of ZigBee wireless technology to measurement system in grain storage[J]. *Computer and Computing Technologies in Agriculture*, 2009, 29(5): 2021-2029.

[9] 李正明,侯佳佳,潘天红,等.基于 ZigBee 与 GPRS 的无线水文监测系统设计[J]. 排灌机械, 2009, 27(3):184-189.

[10] LIN Y T, LIN Y S, LU S S. A low-power 2.4-GHz receiver front-end for wireless sensor networks[J]. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2009, 51(12): 3021-3024.

[11] 台宏达,田国会,宋保业,等. ZigBee2006 协议栈的无线传感执行网络构建[J]. 新器件新技术, 2009, 18(7):35-38.

[12] 王静霞.一种与 ZigBee/802.15.4 协议兼容的 RF 模块 XBee/XBee-PRO 及其应用[J]. 电子工程师, 2007, 33(3):24-27.

(上接第 2680 页)络的情况,图 3 给出了实验的结果。覆盖网络中节点数从 2 增长到 20 000,每种网络规模条件下进行了 20 次实验,然后取平均值绘制了图 3。图中实线是对实验结果的拟合曲线,显然 Arrival 算法具有对数时间复杂度,说明 3.3 节分析的正确性,LDST 覆盖网络具有良好的可扩展性。

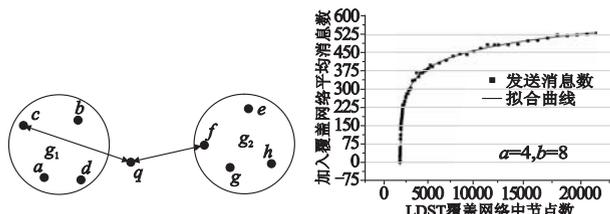


图2 使用近似边界节点解决距离邻近组选取错误示例

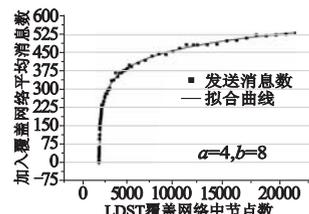


图3 节点加入LDST覆盖网络发送消息数与网络规模的关系

### 5 结束语

通过定义测度空间上两个节点的距离,本文提出一种位置感知的分布式生成树模型。模型可以根据上层应用需求,选择使用底层网络两个节点间跳数或者消息延迟时间作为覆盖网络中节点间距离,通过代表元和邻近组选取规则,建立无标杆、分层的、位置感知的覆盖网络。分析和实验结果表明,构造 LDST 模型的时间复杂度为  $O(\log n)$ ,同时 LDST 模型满足小世界特性,具有较好的可扩展性和实际应用价值。

#### 参考文献:

[1] MESHKOVA E, RIHJ J, RVI, et al. A survey on resource discovery mechanisms, peer-to-peer and service discovery frameworks [J]. *Comput Netw*, 2008, 52(11): 2097-2128.

[2] GUMMADI K P, DUNN R J, SAROIU S, et al. Measurement, modeling, and analysis of a peer-to-peer file-sharing workload [C]//Proc of the 19th ACM Symposium on Operating Systems Principles. Lake George, NY: Association for Computing Machinery, 2003: 314-329.

[3] KARGER D R, RUHL M. Finding nearest neighbors in growth-restricted metrics [C]//Proc of the 34th Annual ACM Symposium on Theory of Computing. Montreal, Que: Association for Computing Machinery, 2002: 741-750.

[4] HILDRUM K, KUBIATOWICZ J, MA S, et al. A note on the nearest neighbor in growth-restricted metrics [C]//Proc of the 15th Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms. New Orleans: Association for Computing Machinery, 2004: 560-561.

[5] FRANCIS P, JAMIN S, JIN C, et al. IDMaps: a global Internet host distance estimation service [J]. *IEEE/ACM Trans on Networking*, 2001, 9(5): 525-540.

[6] DABEK F, COX R, KAASHOEK F, et al. Vivaldi: a decentralized network coordinate system [C]//Proc of ACM SIGCOMM Conference on Computer Communications. Portland: Association for Computing Machinery, 2004: 15-26.

[7] 张小明,王意洁.位置感知的覆盖网构建算法[J]. 国防科技大学学报, 2006, 28(6): 124-128.

[8] SLIVKINS A. Towards fast decentralized construction of locality-aware overlay networks [C]// Procs of the 26th Annual ACM Symposium on Principles of Distributed Computing. Portland: Association for Computing Machinery, 2007: 89-98.

[9] 刘永贤,王洪波,程时端,等.一种 P2P 网络中基于位置感知的节点选择策略[J]. 信息通信技术, 2009, 3(5):11-18.

[10] DAHAN S, NICOD J, PHILIPPE L. The distributed spanning tree: a scalable interconnection topology for efficient and equitable traversal [C]//Proc of IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid. Cardiff, Wales, United Kingdom: Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society, 2005: 243-250.

[11] WATTS D J, STROGATZ S H. Collective dynamics of 'small-world' networks[J]. *Nature*, 1998, 393(6684): 440-442.

[12] EGGEMANN N, NOBLE S D. The clustering coefficient of a scale-free random graph[J]. *Eprint ArXiv*: 2009(3): 1-15.