

基于物联网的农田环境监测无线传感器网络的管理

刘洋^{1,2}, 杨维^{1,2}

(¹北京交通大学电子信息工程学院, 北京 100044; ²中国农业科学院农业信息研究所, 北京 100081)

摘要:针对农田环境监测无线传感器网络中网络节点电量和处理能力有限等特点,分别从网络拓扑管理、位置管理、能量管理和故障管理等4个方面提出了一套完整的网络管理方案,以对网络运行状况进行监测和管理。为了用户能够远程监控和管理无线传感器监测网络,开发了远程监控管理平台,该平台由后台数据库和前端监测管理软件组成。试验结果表明,所提出的网络管理方案,能够实时监测网络的运行情况,及时诊断网络中的异常,保障了网络正常运行、数据实时传输;所开发的远程监控管理平台人机交互界面良好、功能完善、运行稳定,实现了用户对无线传感器监测网络的远程管理和对农田环境的有效监测。

关键词:物联网;无线传感器网络;农田环境监测;网络管理;监测管理平台;MapX

中图分类号:S126

文献标志码:A

论文编号:2011-1650

Management for Farmland Environment Monitoring WSN Based on the Internet of Things

Liu Yang^{1,2}, Yang Wei^{1,2}

(¹School of Electronics and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044;

²Institute of Agriculture Information, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

Abstract: In the farmland environment monitoring WSN (Wireless Sensor Network), the network nodes had limited electric quantity and processing power. Thus, an integrated network management scheme was proposed from four aspects of topology management, location management, energy management and fault management, monitoring and managing the network health. In order that users could remotely monitor and manage the wireless sensor monitoring network, a remote monitoring and management platform was developed, which consisted of a background database and a front-end monitoring and management software. Test results showed that the proposed network management scheme could monitor network health in real time and diagnosis network anomalies in time, ensuring network's normal operation and datum's real-time transmission; The developed remote monitoring and management platform had good man-machine interface, fully function and stable performance, realizing remote management for the wireless sensor monitoring network and effective monitoring for the farmland environment.

Key words: internet of things (IOT); wireless sensor network (WSN); farmland environment monitoring; network management; monitoring and management platform; MapX

0 引言

在推进农业现代化、信息化的进程中,准确及时的现场信息供给是不可缺少的重要环节^[1],但是农业所具有的地域分散、对象多样、远离都市、通信条件落后

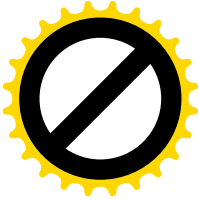
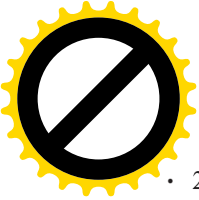
等特点,给农田环境信息的采集带来了困难。作为新一代信息技术,物联网^[1](Internet Of Things, IOT)为农田信息的获取提供了一个崭新的思路。为此,文献[1]提出了一种基于物联网的农田环境监控系统,通过无

基金项目:农业部智能化农业预警技术重点开放实验室开放课题资助项目“基于无线传感器网络的农业环境多参数一体化监测与预警技术研究”(2011-DAEW-03)。

第一作者简介:刘洋,男,1987年出生,湖北随州人,硕士,研究方向:物联网和无线传感器网络。E-mail:09120180@bjtu.edu.cn。

通讯作者:杨维,男,1964年出生,北京人,教授,博士生导师,博士,研究方向:无线监测技术。通信地址:100044 北京市海淀区上园村3号 北京交通大学电子信息工程学院, Tel: 010-51682162, E-mail: wyang@bjtu.edu.cn。

收稿日期:2011-06-02, **修回日期:**2011-08-22。



线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)技术,实现了农田温度、光照等环境信息的自动化采集与存储。

文献[1]中设计的无线传感器监测网络由许多能量和处理能力有限的网络节点组成,并且长期工作在无人看护的环境下,使得网络可能发生故障。为了保证无线传感器监测网络运行的稳定性,数据传输的可靠性,对无线传感器监测网络有效管理非常重要。近年来,无线传感器网络管理的研究得到了很快的发展,尤其在故障诊断与容错控制方面,提出了多种不同的解决方案。但是,现有的网络管理方案很少针对具体的无线传感器网络应用环境,并且缺少直观、有效的管理平台,使其不能很好地应用到实际环境中。

结合无线传感器网络在农田环境监测的实际应用,在文献[1]的工作基础上,笔者进一步提出了一套完整的网络管理方案,并集成GIS^[2](Geographic Information System,地理信息系统)功能开发了远程监控管理平台,实现了用户对网络的远程管理,对农田环境信息的有效监测。

1 无线传感器监测网络的管理

对无线传感器监测网络进行管理,要求能够实时监控网络的运行状态,及时诊断网络出现的异常,自主或人工地寻找合理的修复方案,维护网络正常运行,从而保证网络的连通性和鲁棒性,应用业务执行的稳定性和高效性^[3-4]。无线传感器监测网络的管理主要涉及到网络拓扑管理、位置管理、能量管理和故障管理等4个主要方面。

1.1 拓扑管理

拓扑发现,即实时获取无线传感器监测网络的拓扑结构以及网络节点之间的物理连接情况^[5-6]。通过获取的动态网络拓扑,可以监测网络的运行状况,发现网络中的异常和分析异常产生的原因。因此,作为拓扑管理的主要内容,拓扑发现是故障管理的前提,对网络管理具有重要意义。笔者设计了一种简便的无线传感器监测网络拓扑管理机制,通过网络节点之间的父子关系和节点邻居表获得完整的网络拓扑结构。

汇聚节点建立ZigBee网络后,路由节点和传感节点加入网络时,将向汇聚节点注册自身的网络地址和物理地址、父节点的网络地址等信息。汇聚节点再将这些信息转发至远程监控中心,并结合节点的位置信息从而直观地绘制出网络的树状拓扑结构。在网络工作稳定后,再向路由节点发送邻居表请求,远程监控中心在获得各路由节点的邻居表信息后,可以建立更为完善的网络拓扑结构。当网络感知到某个节点或链路发生变化,将向远程监控中心报告,监控中心据此动态

更新网络拓扑,从而实时反映网络的运行情况。

1.2 位置管理

无线传感器监测网络采集的环境参数如果没有对应的位置信息,是没有意义的,因此需要对网络节点进行定位。基于建网成本和网络节点电量的考虑,并且仅需知道节点在农田里的相对位置,因此没有采用GPS(Global Position System,全球定位系统)设备,而是选定参照物(比如网关)建立二维坐标系。网关、汇聚节点和路由节点作为网络骨干,按照正六边形部署,并且个数较少,故以人工方式配置它们的位置。传感节点距路由节点较近,可将其定位在父节点的通信范围内,通过它们之间的RSSI(Received Signal Strength Indicator,接收信息强度指示)值可更精确定位传感节点,因而减轻了网络配置复杂度。远程监控中心将根据网络节点的位置信息在地图中显示各节点,以反映其在农田里的相对位置。

当某个网络节点电量不足或发生故障,需要准确定位农田里的具体节点时,上述定位方案就失效了。为此,本研究为每个网络节点作了一致性标识,即对每个节点进行唯一编号并标识在节点上,同时将节点与编号的对应关系记录到数据库中。当定位网络节点时,用户根据其在地图中位置可以快速定位出节点在农田里的大致位置,再根据节点上的编号信息找到具体节点。

1.3 能量管理

由于农田一般远离都市,故网络节点主要采用干电池供电,电量有限。虽然采取了一些节能措施,例如采用低功耗的芯片CC2430,固定ZigBee网络的信道,传感节点周期性地工作和睡眠等。但网络节点仍有可能因电量耗尽而失效,因此实时掌握各节点的电量信息并对电量进行预警十分必要^[7]。

网络节点加入网络时,将向远程监控中心报告电量信息。当用户要查询网络当前电量信息时,将向网络发送命令请求,网络节点收到命令后立即向远程监控中心报告。另外,根据CC2430芯片的特征,本研究还设置了低电压检测功能。当芯片检测到电源电压低于给定阈值(根据实际情况预先设置)时,将产生低电压中断,并经无线传感器监测网络向远程监控中心预警。远程监控中心收到预警后,将地图中对应的网络节点图标标识成黄色以告知用户该节点电量不足,用户根据本文1.2节在农田里找到对应节点,并更换电池,以保障网络的正常运行。

1.4 故障管理

无线传感器监测网络一旦部署,将长期处于工作



状态,网络节点或通信链路不可避免地会发生故障,可能影响网络的正常运行。虽然 ZigBee 无线传感器网络具有一定的自恢复能力,但若是节点硬件等故障,这种自恢复能力将失效。因此,需要一种方案及时诊断网络中的故障,自动或人工地修复故障,从而恢复网络的正常运行,即故障管理^[8-10]。

1.4.1 对骨干网络的故障管理 如文献[1]所述,无线传感器监测网络分为2层:上层的 WLAN/Mesh 网络和底层的 ZigBee 无线传感器网络。WLAN/Mesh 网络中,汇聚节点通过网关与远程监控中心通信;ZigBee 无线传感器网络中,路由节点通过汇聚节点与网关通信。根据无线传感器监测网络的这种结构特征,对无线传感器监测网络的故障管理采用了层次管理模式^[4,7]和分簇方法^[9]。将无线传感器监测网络分为2层分别进行管理,WLAN/Mesh 网络中,网关是管理节点,即簇首(Cluster Head, CH),汇聚节点是簇成员(Cluster Member, CM);ZigBee 无线传感器网络中,汇聚节点是簇首,路由节点是簇成员。簇首负责对本簇成员进行管理,并向上层网络汇报本簇采集的环境数据、网络状况等信息,同时转发上层网络发布的命令。采用层次管理模式和分簇方法,分散了管理任务,减轻了网关的管理负担,实现了对网络的有效管理。

无线传感器监测网络周期地收集农田环境信息,簇成员必须经过簇首向远程监控中心汇报收集的环境信息。因此,簇首能够统计出每个周期内哪些簇成员汇报了,哪些没有。簇首如果连续2个周期内没有收到某个簇成员的汇报信息,则认为该簇成员可能发生故障,于是向该簇成员发送状态请求命令以判断是否真的发生故障,并启动1个时长为 T_m 的定时器。如果簇首在 T_m 时间内收到了来自簇成员的回复信息,表明该簇成员正常;否则认为该簇成员的确发生了故障,将向远程监控中心报告,远程监控中心将地图中对应的网络节点图标标识成红色以告知用户该节点失效。

1.4.2 对传感节点的故障管理 对于传感节点,主要考虑到:(1)传感节点只能与父节点通信,若父节点失效,待重新加入网络后父节点将发生变化;(2)传感节点采集的参数若超限,将不经过父节点而直接向远程监控中心报告;(3)路由节点的电能有限,若再对传感节点管理将消耗更多的电能。因此,没有采用分簇的管理方式,而是由远程监控中心对传感节点集中进行管理。监控中心接收并存储传感节点周期(T_m)汇报的环境信息,同时记录此次汇报的时间。监控中心周期(如 $T_m=3.5\cdots T_m$)查询数据库中的传感节点,如果检测到当前时刻与传感节点最近1次汇报的时刻相差大于 T_m ,则认为该传感节点失效。同样,远程监控中心将地

图中对应的传感节点图标标识成红色,以告知用户该节点失效。

根据远程监控中心地图中的信息,可以迅速地定位故障节点并诊断故障发生的原因;再根据本研究中1.2节,找到农田中对应的故障节点,并排除故障。用户排除故障后应将其放回原位置,并保持其物理地址不变,这样当节点再次加入网络时,网络地址和邻居表很可能和以前一样,保证了网络拓扑结构的稳定性。

2 远程监控管理平台的设计

为了用户能够远程地实时掌握农田环境信息,维护和管理无线传感器监测网络,开发了远程监控管理平台,该平台由后台的数据库服务器和前端的监测管理软件组成,具有良好的图形化人机交互界面^[11]。通过远程监控管理平台,用户可以实时获取农田环境信息,分析环境信息的时空特征和变化趋势,了解网络节点部署和运行情况,还可以配置操控无线传感器监测网络。

2.1 开发环境

远程监控管理平台选择了 Microsoft Visual C++6.0 作为开发工具,采用了 Microsoft SQL Server 2005 作为数据库服务器^[2],并采用 MapX 嵌入式组件库作为开发地图显示功能的控件。

MapX^[12-13]是 MapInfo 公司提供的二次开发控件,是一个基于 ActiveX 技术的可编程的地图组件,具有强大的图形显示、查询、空间分析和专题地图等功能,适用于大多数面向对象语言,可以无缝嵌入到各个领域的应用系统中,并且可以脱离 MapInfo 环境独立运行。

2.2 功能模块

根据功能需求^[14],远程监控管理平台主要划分为网络控制、数据采集、数据输出和系统管理等4个模块,如图1所示。

2.2.1 网络控制 主要包括通信端口设置、网络配置和控制命令输出等功能。远程监控管理平台启动后首先应对通信端口进行设置,使其能与无线传感器监测网络进行通信;还需对网络工作周期和网络节点的位置与参数阈值等信息进行配置,使得网络开始正常工作。当用户需要操控网络时,通过该平台向网络发送控制命令实现。

2.2.2 数据采集 主要包括数据接收、解析和存储等功能。远程监控管理平台与无线传感器监测网络中的网关之间采用 C/S(客户端/服务器)工作模式,基于异步 Socket 网络通信机制,实时监听本地 IP 绑定的端口^[15]。当有连接请求时,将接受请求并建立连接,同时启动数据接收。如果验证数据包合法就根据自定义数据包协议完成数据解析,并存入数据库,为以后的数据分析处

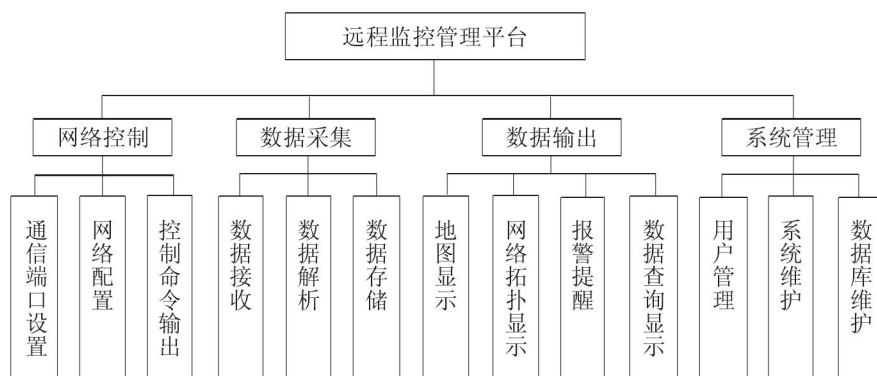
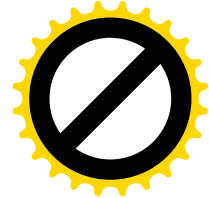
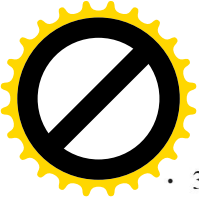


图1 远程监控管理平台的功能模块

理提供数据源。

2.2.3 数据输出 主要包括地图显示、拓扑显示、报警提醒和数据查询显示等功能。监控管理平台采用MapX组件以地图、图形的方式向用户呈现无线传感器监测网络的节点部署和网络运行等情况;当收到超限数据、电量不足或节点失效等警报后,将突出显示对应节点在地图中的图标以提醒用户从而对异常情况进行预警。用户通过查询数据库可以生成数据报表并进行打印,还可以绘制监测量在某个时间段内变化的曲线并分析监测量连续变化的特性。

2.2.4 系统管理 主要包括用户管理、系统维护和数据库管理等功能。用户管理是指对用户的密码和权限进行管理。系统维护是指对监控管理平台进行管理和维

护,保证其正常运行。数据库管理主要是指定期对数据库备份和恢复等,保证数据的安全性。

图2为远程监控管理平台的主界面,由菜单栏、工具栏、状态栏、地图和节点信息5部分组成。地图通过MapX控件以图层的方式进行显示,由背景、网格参考线、网关和汇聚节点、路由节点、传感节点共5个图层依次叠加构成;节点信息通过Tab控件实现,显示了各类网络节点的相关信息,并可以向网络节点发送命令以配置和操控节点。

3 试验设计

为了验证提出的无线传感器监测网络管理方案的可行性和有效性,编写了各个网络节点的程序代码,按照文献[1]中的网络体系结构和节点部署方式组建了1

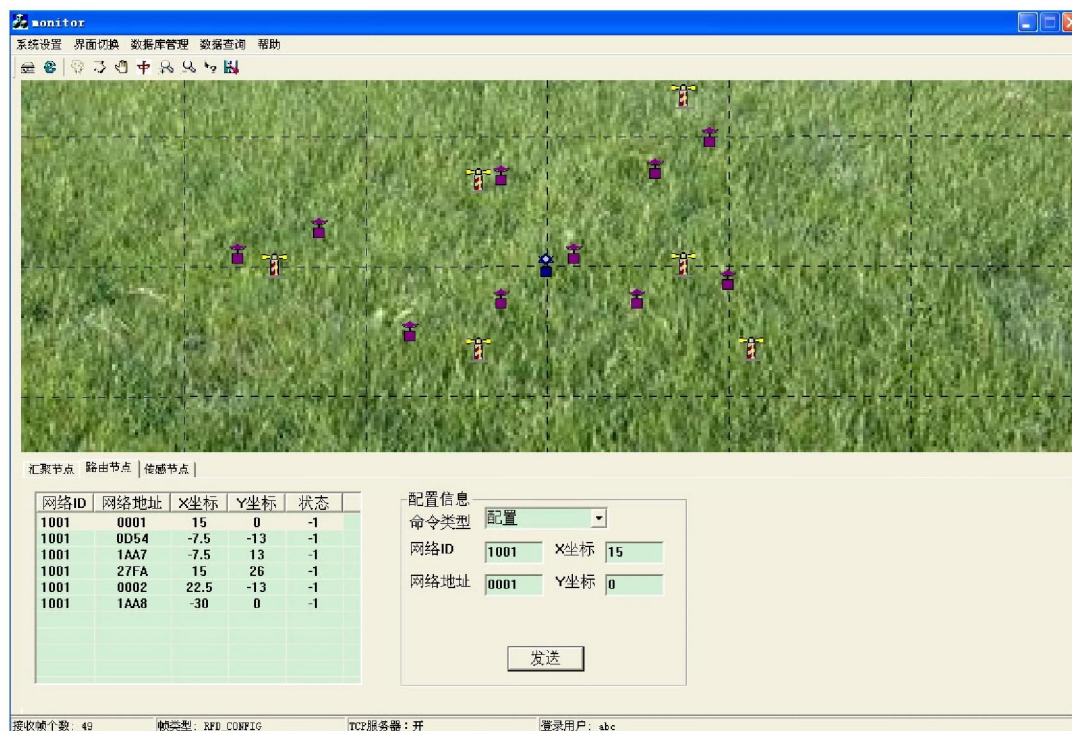
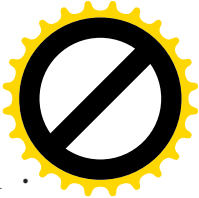


图2 远程监控管理平台的主界面



个无线传感器监测网络,进行模拟试验。为了测试开发的远程监控管理平台的功能性和稳定性,将远程监控管理平台与无线传感器监测网络通过 WLAN 方式进行互联,进行了相关试验。

3.1 试验环境

选取一个草坪上进行试验,网络节点选用 CC2430 芯片, TI 公司的 Z-Stack 协议栈,采用干电池供电,最大传输距离约 36 m。试验中部署有 1 个汇聚节点, 6 个路由节点和 10 个传感节点,网络深度为 4。路由节点采用正六边形方式部署,之间的距离约 15 m,传感节点随机分布在各路由节点周围。为了模拟农田实际情况,传感节点分 2 种:一种采集电池电量和温度;另一种采集电池电量和随机数,同时设置随机数阈值为 0XC0,即大于 0XC0 为超限数据。汇聚节点通过 WLAN 与笔记本电脑相联,由运行在笔记本电脑上的远程监控管理平台观察网络的运行情况,并通过 Packet Sniffer 工具侦听网络通信的数据帧。试验中设置采集周期为 5 min,连续工作 4 h。

3.2 结果与分析

登录远程监控管理平台时,将提醒用户输入用户名和密码,用户名和密码都匹配后方可进入。无线传感器监测网络成功建网后,向远程监控中心报告自身的网络地址和物理地址以及父节点的网络地址等信息,此时,通过远程监控管理平台,可以绘制出网络的拓扑结构,如图 3 所示。其中,数值代表 16 进制的网络地址,箭头由子节点指向父节点。

之后通过管理平台向无线传感器监测网络发送配置命令,以对网络节点的位置和参数阈值以及数据采集周期等进行配置,使得网络开始正常工作。此后,网络周期性地采集环境信息,并向远程监控中心汇报,监

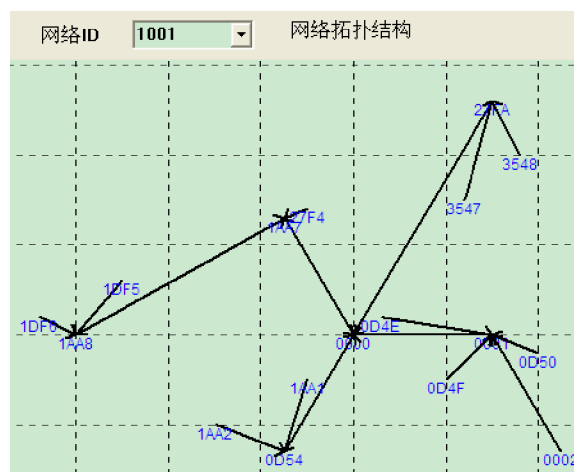


图 3 网络 ID 为 0X1001 的网络拓扑结构图

控管理平台收到后将对其进行解析,然后存储到数据库中。当接收到超限数据时,图 2 地图中对应的节点将以图标闪烁的方式向用户预警,并记录消息到 log 文件中。

为了测试故障管理功能,人为的对网络节点断电。首先对一个传感节点断电,一段时间后图 2 地图中对应的节点将以图标变红的方式向用户提示节点发生故障,并记录消息到 log 文件中。通过分析可知,图标变红的节点正是刚才人为断电的那个传感节点。再次绘制网络拓扑图时,并没有该节点。同理,对路由节点断电也会出现类似的提示信息。

使用历史数据查询显示功能,查询了传感节点 0X1AA1 在某时间段内采集的温度信息,生成了一张数据报表,并以时间为横轴,以温度为纵轴绘制了这段时间内温度的变化情况,如图 4 所示。左侧的树形控件列出了当前工作的所有传感节点;中间的列表控件列出了从数据库中查询到的数据;右侧绘制了传感节

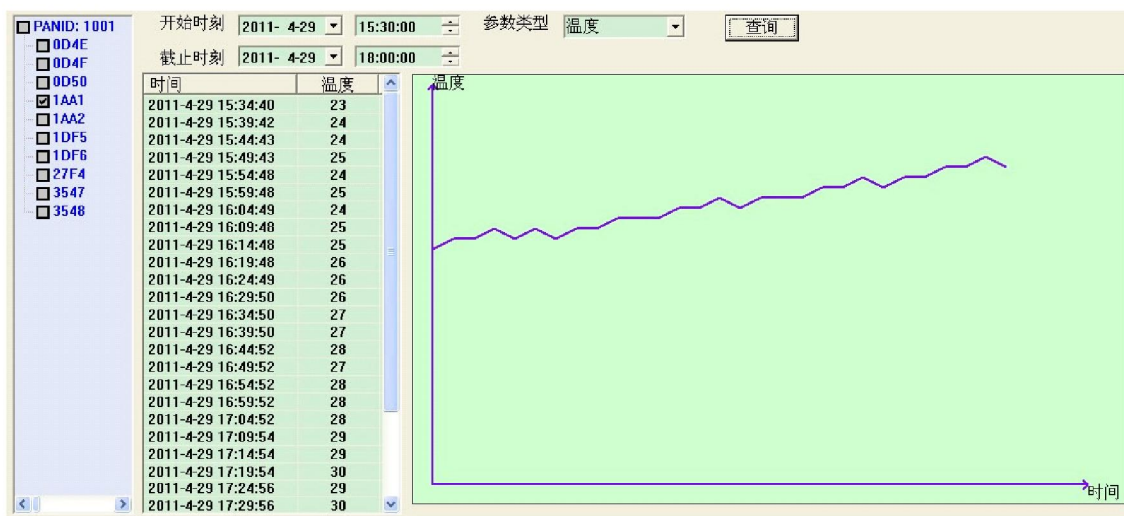
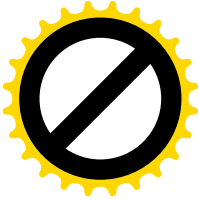
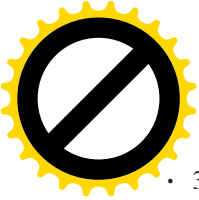


图 4 传感节点 0X1AA1 在某时间段内采集的温度信息



点在某时间段内历史参数随时间的变化情况。

上述试验结果表明:设计的基于物联网的农田环境监控系统工作正常,提出的无线传感器监测网络管理方案实施简便,能够准确反映网络的拓扑结构,实时监测网络的运行状况,及时诊断网络中出现的故障,并向远程监控中心报告,保障了无线传感器监测网络的稳定运行。开发的远程监控管理平台人机交互界面良好,实现了设计的功能需求,运行稳定可靠,能够准确接收、解析和存储来自无线传感器监测网络的数据并控制农田现场的网络节点,能够实时显示网络的运行情况和采集的环境信息。

4 结论

针对文献[1]提出的农田环境无线传感器监测网络,分别从网络拓扑管理、位置管理、能量管理和故障管理等4个方面提出了一套完整的网络管理方案,完成了对网络拓扑动态获取、对网络节点大致定位、对网络能量实时监测和预警、对网络故障进行诊断和修复。在Microsoft Visual C++6.0环境下,采用MS SQL Server 2005数据库和MapX组件,开发了远程监控管理平台,实现了对农田环境的远程监测。试验结果证实,所提出的网络管理方案能够实时监测网络的运行情况,及时诊断网络中的异常;开发的远程监控管理平台人机交互良好、功能完善、运行稳定,从而实现了用户对无线传感器监测网络的远程管理和对农田环境信息的有效监测。

本研究提出的无线传感器网络管理方案和开发的远程监控管理平台具有高度的通用性,完全可以应用到其他相关领域的信息监控中,为今后物联网在农业环境监测等领域中的进一步研究和应用奠定了重要的技术基础。

5 讨论

物联网能够把任何物体与互联网相连,方便了人类对周围事物的认知。将物联网技术应用到农田环境监测中,实现了对农田环境信息的自动化采集和远程监测,为农业现代化、信息化提供了很好的解决方案。物联网技术对今后精准农业的发展将起到重要的支撑作用,并将得到广泛的研究与应用。

网络管理在所有类型网络中都非常关键,对于网络节点电量和处理能力有限的无线传感器网络更为重要。本研究紧密结合无线传感器监测网络的体系结构,采用层次管理模式和分簇方法对网络进行故障管理,及时诊断网络故障,有效监测网络状况。开发的远程监控管理平台集成了GIS功能,方便了用户对网络

节点的定位和对环境参数的时空分析。

本研究针对物联网和无线传感器网络技术在农业环境监测中的应用进行了深入研究,但与精准农业和现代农业还有一定差距。不足之处主要体现在以下2个方面:(1)没有充分利用无线传感器网络采集的环境信息。今后将对采集的环境信息进行融合和分析,为农业生产提供科学决策。(2)只进行了环境信息的采集,缺少对农田环境的反馈。例如,当监测到某区域的土壤水分不足时,通过决策控制可以自动开启相应区域内的灌溉设施。

参考文献

- [1] 刘洋,杨维.基于物联网的农田现场无线传感器网络数据汇聚机制[J].安徽农业科学,2011:9.
- [2] 刘卉,汪懋华,王跃宣,等.基于无线传感器网络的农田土壤温湿度监测系统的设计与开发[J].吉林大学学报:工学版,2008,38(3):604-608.
- [3] 杨扬,黄日茂,王德政.无线传感器网络故障检测研究[J].电脑知识与技术,2010,6(33):9215-9216,9218.
- [4] 彭宇,宋佳,彭喜元.无线传感器网络故障管理架构设计方法概述[J].电子测量与仪器学报,2009,23(11):1-10.
- [5] Wan J, Wang D X, Xu X H. Design of Wireless Sensor Network Management System Based on ZigBee Technology[J].Intelligent Systems and Applications(ISA),2010:1-4.
- [6] Zhang B, Li G H. Survey of Network Management Protocols in Wireless Sensor Network[J].E-Business and Information System Security,2009:1-5.
- [7] Muhammad M A, Md. Mamun-Or-Rashid, Choong S H. WSNMP: A Network Management Protocol for Wireless Sensor Networks[J].Advanced Communication Technology,2008,1:742-747.
- [8] 陈拥军,袁慎芳,吴键,等.无线传感器网络故障诊断与容错控制研究进展[J].传感器与微系统,2010,29(1):1-5.
- [9] Zhang W B, Xu H F, Sun P G. A Network Management Architecture in Wireless Sensor Network[J].Communications and Mobile Computing (CMC),2010,3:401-404.
- [10] Asim M, Mokhtar H, Merabti M. A Fault Management Architecture For Wireless Sensor Network[C].Wireless Communications and Mobile Computing Conference,2008:779-785.
- [11] 高峰,俞立,王涌,等.无线传感器网络作物水分状况监测系统的上位机软件开发[J].农业工程学报,2010,26(5):175-181.
- [12] 尹旭日,张武军.Visual C++环境下MapX的开发技术[M].北京:冶金工业出版社,2009:20-161.
- [13] 刘云,李义天,谈广鸣,等.基于VC和MapX的洪水调度系统的研制[J].中国农村水利水电,2010,6:62-65,72.
- [14] 李楠,刘成良,李彦明,等.基于3S技术联合的农田墒情远程监测系统开发[J].农业工程学报,2010,26(4):169-174.
- [15] 刘永生,陈立平,徐刚,等.农田无线传感器网络数据处理服务器的设计与实现[J].农业工程学报,2009,25(增刊2):179-183.