

无线传感器网络在三峡库区滑坡远程监测中的应用*

陈媛媛^{1,2} 郭开林^{*,2}

(1. 重庆工业职业技术学院, 重庆 401120; 2. 重庆大学通信与测控中心, 重庆 400044)

摘要:为解决三峡库区滑坡监测中偏远山区公网信号无法满足远程监测的需求问题,将无线传感器网络引入到三峡库区滑坡远程监测中,并通过国内的北斗卫星通信技术解决偏远山区通信盲区问题,构建了三峡库区滑坡远程监测系统的模型,采用“预警上报,定时传输”的数据传输流程实现滑坡监测数据的传输。实验表明:基于无线传感器网络的监测系统可以满足三峡库区滑坡监测的应用需求;同时,“预警上报,定时传输”的数据传输流程可以有效降低节点能量消耗,延长网络生存周期。

关键词:无线传感器网络;滑坡远程监测;三峡库区

中图分类号:TM331;TP183

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1006-6055.2013.02.008

Application of Wireless Sensor Network in Three Gorges Landslide Remote Monitoring*

CHEN Yuanyuan^{1,2} GUO Kailin^{*,2}

(1. Chongqing Industry Polytechnic College, Chongqing 401120; 2. The Center of Communication and Tracking Telemetry & Command, Chongqing University, Chongqing 400044)

Abstract: In the landslide monitoring of three gorges reservoir, the public network signal can not meet the demand of remote monitoring. In order to solve the problem, wireless sensor network is introduced to the landslide monitoring system of three gorges reservoir, and it is also helped by beidou satellite commutation system to cover communication blind district, which construct the model of landslide monitoring system of three gorges reservoir. The monitoring data was implemented by the data transmission process of 'Alarm Reporting and On-time Transmission'. Experiments show that the monitoring system, based on the wireless sensor network, can meet its application requirements. At the same time, the data transmission process of 'Alarm Reporting and On-time Transmission' can reduce the energy consumption effectively, and increase network's life.

Key words: wireless sensor network; landslide remote monitoring; three gorges

1 引言

大自然给人类提供了赖以生存的物质环境,同时也带来了无数的自然灾害。目前,我国的地质灾害种类繁多,突发性地质灾害事件发生比较频繁,已经造成了巨大的经济损失。滑坡是地质灾害的主要类型之一,其危害和影响程度仅居地震、火山之后,具有分布地区广、发生频率高、运动速度快、灾害损失严重等特点。

长江三峡工程是举世瞩目的特大型水利工程,长江三峡库区是中国滑坡灾害发生的重灾区之一,以滑坡为主的地质灾害已成为影响三峡水库移民工程安全的重大问题。近年来,长江三峡库区的滑坡灾害调查、治理、滑坡灾害预测预报一直是国内研究的热点之一^[1-3]。

随着嵌入式计算技术、通信技术和传感器技术的飞速发展和 MEMS 技术的日益成熟与完善,产生了具有感知能力、计算能力和通信能力的微型传感器。众多这种微型传感器节点通过无线方式连接,相互协作,同物理世界进行交互,共同完成特定的应用任务就构成了无线传感器网络(Wireless Sensor Network)^[4]。无线传感器网络被列为 21 世纪最有影响的 21 项技术和改变世界的 10 大技术之一,被广泛地应用在国防军事、环境监测、智能交通管理、医疗卫生等领域^[5,6]。

无线传感器网络具有布点分布广、成本低、容错性好、可远程监控、便于诊断与维护等众多优点。在长江三峡库区需要进行滑坡监测的地区往往为较为偏远,环境较为恶劣的山

区,一般很难通电且通信条件十分不好,GSM 和 GPRS 等无线公网的信号无法得到保证。因此,将无线传感器网络引入到三峡库区滑坡远程监测中,实现远程、自动化、智能化的滑坡远程监测。

2 滑坡监测系统的总体设计

长江三峡水库库区总长约 574 km,干、支流岸线总长约 5 300 km。国家根据库区自然特征与行政关系划出的长江三峡库区共包括 16 个县,面积约 1 240 km²,人口约 2048 万。库区面积大、分布广,应用于三峡库区滑坡监测的无线传感器网络属于真正意义上大规模无线传感器网络(Large Scale Wireless Sensors Network, LS-WSN)。传统小规模无线传感器网络集中式架构组网策略不能满足 LS-WSN 组网需求,需采用分布式架构组网策略^[7]。

三峡水库沿岸地质地貌条件复杂,且处于亚热带气候区,雨量充沛,且多暴雨,故崩塌、滑坡及泥石流时有发生,古滑坡分布甚多。移民工程迁建的新城镇几乎都在斜坡地带,多数都有古滑坡存在,这些古滑坡在天然条件下多处于稳定状态,但水库蓄水后的库水位上升及泄洪后的库水位下降的变化及移民工程的影响下,很多古滑坡将会复活。移民工程及水库水位,除了会诱发一些古滑坡复活外,还会导致新滑坡的发生。因此在滑坡易发区域以及潜在危险区域根据灾害体工程地质结构特征,确定变形破坏的关键部位^[8],分别布置完善监测网点,所有的监测子网最终构成整个三峡库区滑坡远程监测系统建立系统化监测仪器网络滑坡,监测系统层次结构如图 1 所示。

基于无线传感器网络的三峡库区滑坡远程境监测系统

* 重庆市自然科学基金(021400243030)资助

** E-mail: acguokailin@163.com

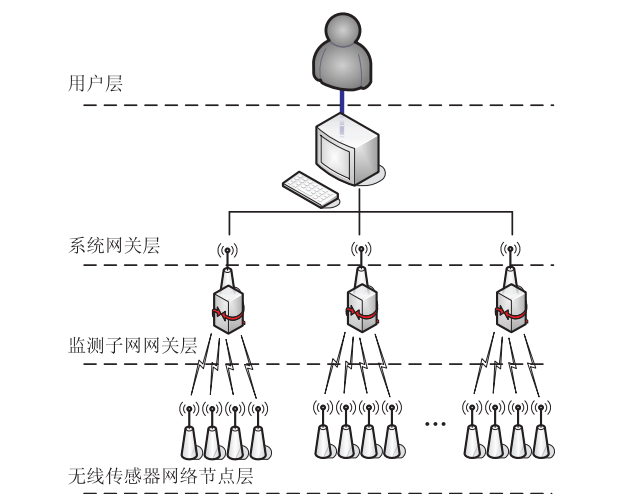


图 1 滑坡监测系统的层次结构图

Figure 1 The structure of landslide remote monitoring system

由四个层次组成：

- 1) 无线传感器网络节点层
无线传感器网络节点层是整个监测系统的最底层,该层由部署在危险区域的若干监测子网组成。每个监测子网包括若干个智能无线传感器节点,负责从周围采集各种监测数据,经过数据处理和融合后传输给监测子网网关节点。节点采用电池供电,要求有较长的生命周期,低功耗等特点。节点相互之间以及与监测子网网关节点之间的通信采用 ZigBee 技术。
- 2) 监测子网网关层
监测子网网关层由具有多种通信功能的节点组成,解决监测系统的长距离无线通信问题,主要负责协议转换,与上层网络通信,向下转发用户指令,向上传送无线传感器网络节点所采集的监测数据等。
- 3) 系统网关层
系统网关是用户与监测系统沟通的桥梁。通过这个层次用户可以直接操作无线传感器网络,相当于无线传感器网络的人机接口。
- 4) 用户层
主要由分析、监控、预警和转储系统构成。用于协助用户分析监测数据和监控整个网络的各种参数,对监测数据进行存储,历史数据分析,状态评估等。用户层利用一些信息处理软件分析接收到的检测数据,判断库区是否存在滑坡潜在危险,以及滑坡危险潜在区域的位置和危险程度,对安全状况作出评估,如果发现异常,发出相应的报警信号。

3 滑坡监测子网的设计

基于当前无线传感器网络的技术发展现状,并借鉴国内外研究经验^[9],针对三峡库区滑坡远程监测的应用环境,设计了一种适用于滑坡远程监测系统的网络结构——“一区多 PAN(Personal Area Network)”,滑坡远程监测子网结构如图 2 所示。

整个监测网络被划分为若干个独立的监测子网(PAN),每个 PAN 都是一个相对独立的 ZigBee 无线传感器网络,完

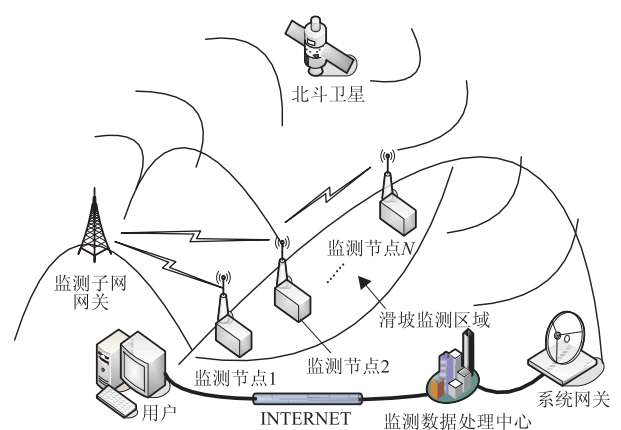


图 2 滑坡远程监测子网的结构图

Figure 2 The structure of landslide remote monitoring sub network

成其监测区域的数据采集,节通过与其它节点配合以多跳方式发送到监测子网网关,然后将数据通过北斗卫星发送到监控中心。ZigBee 无线传感器网络是基于 802.15.4 技术标准和 ZigBee 网络协议而设计的无线数据传输网络,是一种低速率、低成本、低功耗的短程无线通信网络。具有数据传输安全可靠、组网简易灵活、设备成本低、网络寿命长等独特的优势。

在各个监测子网内的无线传感器网络采用的是网状拓扑结构,如图 3 所示。这种结构中,所有节点的地位都是平等的,每个节点既可以是普通节点又可以是路由节点,且每个节点会自动寻找较近的节点来进行数据的转发,并不直接和网关节点进行通信。这种结构虽较为复杂,但是具有极强的冗余性,中间任何节点出问题,都不会影响到其它节点的数据传输。如果一旦出现某一节点的损坏,与其相关的节点会自动调整网络的路由,将数据经由其它节点进行传输。网状拓扑网络结构使得信息的通信变得更有效率,而且意味着一旦一条路由路径出现问题,信息可自动沿着其他路径进行传输。

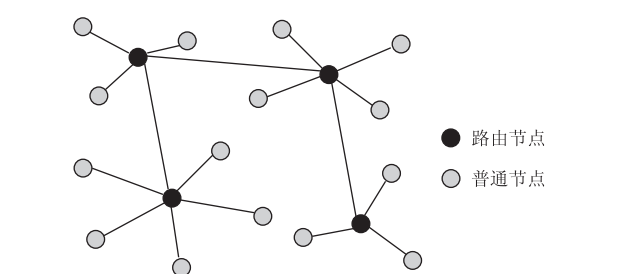


图 3 网状拓扑结构图

Figure 3 The structure of mesh topology

4 硬件设计

不同应用环境中,传感器节点的组成略有不同,但都包括以下基本模块:传感器模块(敏感元件及信号调理和数模转换等)、处理器模块(CPU、存储器等)、无线通信模块及能量供应模块(包括电源及相关电源管理)。无线传感器节点采用 TI 公司的 CC2430 作核心部件,传感器节点部分硬件体系结构如图 4 所示。CC2430 集成了增强型 8051 MCU、闪

存、SRAM 和 RF 收发器,支持 2.4GHz IEEE 802.15.4/ZigBee 协议,CC2430 工作时电流消耗 mA 级,休眠状态只有 0.9 μ A,低能耗的特点非常适合应用于不方便更换电源三峡库区滑坡远程监测的工作环境^[10]。

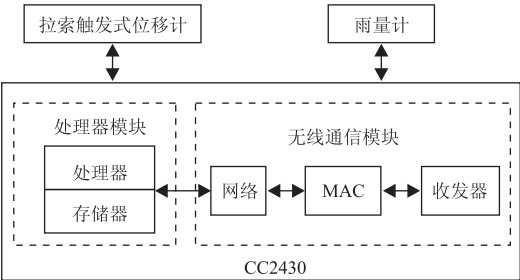


图 4 无线传感器节点硬件体系结构

Figure 4 Hardware architecture of wireless sensor node

通常滑坡监测的参数主要包括监测滑体地表平面位移及垂直位移变化和滑体内地下水水位、水温变化等。因此,传感器部分采用拉索触发式位移计和雨量计完成监测参数的采集。

拉索触发式位移计利用滑坡周边的相对稳定点与滑坡监测点的相对位置变化,得到每一监测点的相对位移量,以数字方式感应测量,当钢索拉伸达到预设间距时,即主动触发信号,向集成在 CC2430 内的主控制器 8051 发送中断请求,主控制器接收到外部中断作出相应的响应操作。

雨量计为容栅式,采用精密容栅位移传感器,计量准确,上部承水器中的雨水进入贮水室,和贮水室雨水的排出,使用电动阀门自动控制,即使遭遇特大暴雨,雨量也不会有任何流失,从根本上解决了以往虹吸和翻斗雨量计遇暴雨时计量误差大的问题。雨量计的 outputs 为脉冲信号,CC2430 内的主控制器 8051 直接通过脉冲计数的方式获取监测参数。

在三峡库区滑坡远程监测中,由于很多监测区域地处偏远,GSM 和 GPRS 等无线公网的信号无法得到保证且无线传感器网络的通信距离有限,所以通过国内的北斗卫星通信技术解决长距离通信和通信盲区问题。监测子网网关硬件体系结构(如图 5)主要包括主控制器、ZigBee 通信模块和北斗卫星通信装置等。主控制器选用 ST 公司的 STR912F 微控制器,片内自带 Flash、USB、以太网、ADC、RTC 等,方便对各种无线网络进行实时连接自动控制管理。ZigBee 通信模块与传感器节点的无线通信模块一样选用 CC2430。北斗卫星通信装置选用北斗一号通用型用户机。北斗导航系统可以在服务区域内任何时间、任何地点,为用户确定其所在的地理经纬度和海拔高度,并提供双向短报文通信和精密授时服务。北斗一号通用型用户机可通过北斗一号卫星实现数据转发功能,该机型可实现独立组网,也可与多种传感器相连,从而实现对监测数据的传输和实时监控。适用于常规通信无法实现的场所及长期无人值守的基站工作。

5 数据传输流程

无线传感器网络是整个三峡库区滑坡远程监测网络的核心部分,由于节点现阶段都采用电池供电且更换不便,能量问题是关系到整个网络生命周期的关键点之一。研究表

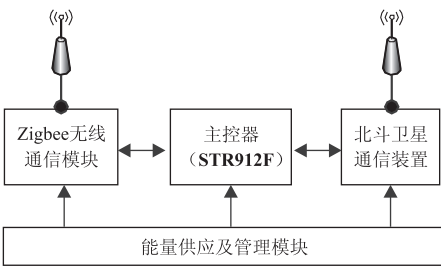


图 5 监测子网网关硬件体系结构

Figure 5 Hardware architecture of monitoring sub network gateway

明^[11]:随着集成电路工艺进步,消耗在传感器模块的感知能耗和消耗在处理器模块的数据处理能耗变得很低,绝大部分能量消耗在无线通信模块。为降低节点能量消耗,节点采用“预警上报,定时传输”的数据传输流程(如图 6)实现监测网络数据传输,在没有异常情况以及未到预设发送时间点的时候节点的无线发送模块处于关闭状态以便节省能量消耗。

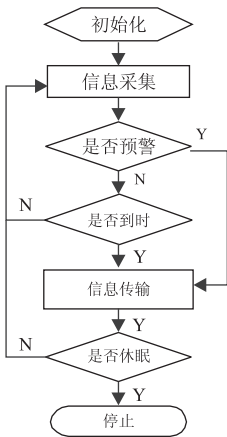


图 6 节点数据访问流程图

Figure 6 Node data access flow chart

预警上报是监测子网内的监测节点一旦监测到有可能发生滑坡的异常信息是即向监测中心发送预警信息,监测中心通过对信息的综合分析判断对当前的安全状况作出评估。由于滑坡体在稳态或者次稳态的时候其状况都是相对较为稳定的,因此不需要频繁的采集监测信息,只需在一定的时间采集监测信息发送到监测中心存档,以供后期的定性分析等。

在节点休眠状态下,首先是当节点的主控制器接收到拉索触发式位移计产生的外部中断时将节点唤醒,然后开启无线发送模块将告警信号发送到监控中心。另外一种情况则是在没有外部中断产生时以定时器的方式唤醒,通过 CC2430 的内部系统时钟将节点唤醒。“预警上报,定时传输”的数据传输流程在满足节省节点传输能量的基础上又可以使监测网络能够及时有效的将预警信息发送到监测中心。

6 实验结果及分析

基于课题组现有的软、硬件平台,对监测网络划分监测子网的分布式组网策略和“预警上报,定时传输”的数据传输流程进行了实验验证。采用 24 个无线传感器节点构建三个

(下转第 200 页)

改进的收敛要快得多,同时均方根误差也很快就收敛到了很小的值。图 10 显示了迭代的坐标变化的过程,从图中可以看出,迭代坐标的确很快就靠近了准确的坐标。上述说明,改进初值的梯度下降法能够有效的加快迭代的收敛速度,从而减小了位置感知的时间。

5 结束语

物联网的迅速发展,必然对精确的位置感知服务产生需求,本文研究的基于 UHF RFID 方案的位置感知算法,包括标签与阅读器之间的距离的测量方法和定位算法,在测距精度,定位收敛速度和精度方面都有较好的效果,有较大的实用价值。由于本文中测距和定位方法都没有考虑标签和阅读器之间有障碍物的情况,如果有障碍物,实际测得的距离应该是电磁波信号通过衍射或者是绕射到达的,从而使得定位精度误差较大,因此,将在下一步的工作中分析这种情况的精确位置感知的算法。

(上接第 192 页)

监测子网,每个监测子网的 8 个监测节点以网状拓扑结构连接通过子网网关与上级网络通信,在系统网关接入层的基站设计了一个嵌入式 Web 服务器,组建一个简易网络实验平台。

在实验过程中,如图 7 所示,通过 Internet 访问基站 Web 服务器进行网络维护管理和查看监测信息。监测网络可以有效地监测到滑坡体的异常状况,并主动上报给监测中心,提供有效的参考数据。监测子网内的无线传感器节点绝大多数时间都处于休眠(未进行信息传输和信息采集)状态,可以大幅降低节点能量消耗,有效延长网络的生存周期。

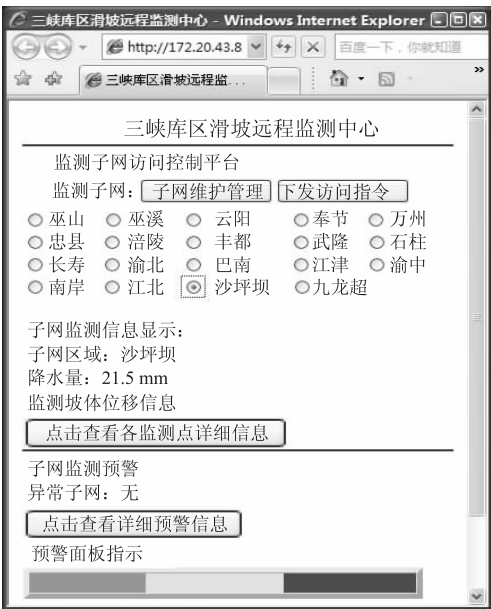


图 7 监测中心软件平台
Figure 7 Monitoring center software platform

7 结论

本文将无线传感器网络引入到三峡库区滑坡远程监测

参考文献

[1]蔡畅听,皮亦鸣. 高灵敏 GPS 技术的研究进展[J]. 全球定位系统,2006,31(2):1-4.
[2]BOLIC M, SIMPLOT D, STOJMENOVIC I. RFID Systems Research Trends and Challenges[M]. Chichester, West Sussex: Wiley, 2010.
[3]BECHTELER T F, YENIGUN H. 2-D localization and identification based on SAW ID tags at 2.5 GHz[J]. IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques, 2003, (5): 1584-1590.
[4]LI Xin, ZHANG Yimin, AMIN M G. Multi-frequency-based range estimation of RFID tags[J]. IEEE International Conference. RFID, 2009, (3): 147-154.
[5]AHAND F, AMIN M G, SETLUR P. Through-the-wall target localization using dual-frequency CW radars[J]. Proceedings of SPIE, 2006, 6201: 1-12.
[6]PAVEL V N, RENE M, HUNTER L, et al. Phase Based Spatial Identification of UHF RFID Tags[J]. IEEE RFID, 2010, (5): 102-109.
[7]TIMOTHY S. Numerical Analysis[M]. 吴兆金, 王国英, 范红军, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2010: 533-546.

中,并通过北斗卫星通信技术解决偏远山区通信盲区问题,构建了三峡库区滑坡远程监测系统的模型,采用“预警上报,定时传输”的数据传输流程实现滑坡监测数据的传输。实验表明:基于无线传感器网络的监测系统可以满足三峡库区滑坡远程监测的应用需求;同时,“预警上报,定时传输”的数据传输流程可以降低节点能量消耗,延长网络生存周期。滑坡监测是一项庞杂的系统工程,除了监测信息采集和传输外还包括信息分析预报和评估等。如何通过改进监测手段和提高监测信息利用率准确预报和评估灾情,为人民生命财产安全和国民经济发展保驾护航是下一步的研究重点。

参考文献

[1]张振华,罗先启,吴剑,等. 三峡库区滑坡监测模型建模研究[J]. 人民长江, 2006, 37(4): 93-94.
[2]徐绍铨,程温鸣,黄学斌,等. GPS 用于三峡库区滑坡监测的研究[J]. 水利学报, 2003, 1: 114-118.
[3]王尚庆,徐进军,罗勉. 三峡库区白水河滑坡险情预警方法研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2009, 34(10): 1218-1221.
[4]KARAPISTOLI, EIRINI, GRAGOPOULOS, et al. A MAC protocol for low-rate UWB wireless sensor networks using directional antennas[J]. Computer Networks, 2009, 53(7): 961-972.
[5]ARORA A, DUTTA P, BAPAT S, et al. A line in the sand: A wireless sensor network for target detection, classification, and tracking[J]. Computer Networks, 2004, 46: 605-634.
[6]FARKAS K, HEIDEMANN J, IFTODE L. Vehicular communication[J]. IEEE Pervasive Computing, 2006, 5(4): 55-62.
[7]仲元昌,郭开林,徐保桂,等. 面向三峡库区水环境监测的混合网络构建[J]. 世界科技研究与发展, 2010, 32(6): 737-740.
[8]许强,汤明高,徐开祥,等. 滑坡时空演化规律及预警预报研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(6): 1104-1112.
[9]谢洁锐,刘才兴,胡月明,等. 无线传感器网络的部署[J]. 传感器与微系统, 2007, 26(1): 4-7.
[10]缪新颖,褚金奎,杜小文. 基于大坝监测的无线传感器网络结构的设计[J]. 传感器与微系统, 2009, 28(9): 100-103.
[11]POTTIE G, KAISER W. Wireless sensor networks[J]. Communications of the ACM, 2000, 43(5): 551-558.