

基于物联网技术的博物馆室内环境监测

纪志成

(江南大学 江苏无锡 214122)

摘要: 物联网是传感器技术、无线通信技术、网络和嵌入式计算机技术交叉渗透的产物,随着物联网概念的提出,其技术得到了飞速发展,并且在社会多个领域取得了成功应用。针对当前博物馆环境监测存在的问题与难点,提出了基于物联网技术的博物馆室内环境监测系统的总体设计方案,在此基础上,分别给出了传感器节点、汇聚节点的软硬件设计方案,该设计具有低功耗、低成本、扩展灵活等优点。构建的测试平台验证了该系统良好的可行性与稳定性。

关键词: 物联网;环境监测;博物馆;无线传感器

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A

0 引言

中国是一个具有五千年悠久历史的文明古国,文物分布遍及全国,文物保护任务复杂而艰巨。当前,因技术、资金和管理等方面的原因,导致很多文物被损坏或丢失,如何科学而有效地对文物进行保护和管理是文物管理领域面临的巨大挑战。传统的博物馆环境监测手段,基本上以人工巡检为主,并通常要在监测区域内部部署大量的线路,体积庞大、造价高,特别是在电源供给困难、工作人员不能到达的区域或是无通信网络的区域,监测的难度大大增加。此外,一旦线路部署完毕,就很难根据监测的需求改变监测任务,以至系统可重用性差。

近年来,物联网技术的飞速发展,及其在各领域的成功应用,为文物保护与管理提供新的途径。所谓物联网(Internet of things)泛指“物物相联之网”,是利用二维码标签、射频识别标签(RFID)、各类传感器/敏感器件等技术和设备,按约定的协议,通过互联网与电信网实现物与物、物与人之间的信息交互,支持智能的信息化应用,实现对物体的智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。物联网的本质概括起来主要体现在三个方面:一是全面感知,即利用RFID、传感器等随时随地获取物体的信息;二是可靠传递,通过各种电信网络与互联网的融合,将物体的信息实时准确地传递出去;三是智能处理,利用云计算、模糊识别等各种智能计算技术,对海量数据和信息进行分析 and 处理,对物体实施智能化控制。进入

21 世纪后,物联网更朝着体积更小、能耗更低、能量利用率更高的趋势快速发展。物联网在军事、国防、工农业、环境监测、城市交通、医疗卫生、智能家居等许多领域都有重要的研究价值和巨大的实用价值^[1]。

采用物联网技术对博物馆环境监测的优势^[2]主要体现在三方面:(1)传感器节点的体积小且整个网络只需要部署一次,传感器网络部署对所监测环境的影响很小;(2)传感器节点数量大,分布密度高,具有数据采集量大、精度高的特点。(3)传感器节点本身具有一定的计算能力、存储与通信能力,可以根据物理环境的变化进行较为复杂的监控,并且在节点间进行协同监控。此外,应用于环境监测的传感器网络,一般具有部署简单、便宜、长期不需更换电池、无需派人现场维护的优点。通过密集的点布置,可以观察到微观的环境因素。因此,将物联网应用于博物馆环境监测中,通过传感器网络监测得到环境数据为文物保护专业人员探索适合文物生存的环境特点提供数据支持,并且在监测文物环境过程中可以智能发布预警警告,既能提高文物的保护水平,又能节省人力资源,降低劳动强度。

1 系统分析与总体设计

1.1 系统设计需求

系统的设计目标为:应用物联网技术实现博物馆中温度、湿度、光线等环境因素的监测系统。该系统要求传感器节点在监测区域内构成网络,采集所需要的数据,并将采集所需的数据实时地传送给监

收稿日期:2011-05-25;修回日期:2011-06-28

作者简介:纪志成(1959—),男,教授,博士生导师,江南大学副校长,主要研究领域为物联网技术、电气传动、风能系统、智能控制等, E-mail: zcji@jiangnan.edu.cn

控终端,使博物馆管理人员能够通过监控终端查询所需的数据。其需求可以具体归纳为:

- (1) 具有远程访问的功能,管理人员可以远程监控传感器网络的状态和数据;
- (2) 作为环境监测,需要有足够长的网络生存期;
- (3) 对自然环境的影响小,传感器网络的部署和工作不能影响文物;
- (4) 具有感应和搜集数据能力。传感器网络能够对环境温度、湿度、光线等参数进行采集;
- (5) 数据存储能力。它能够将大量的传感数据存储在远程数据库,并能够进行离线的数据访问。

1.2 系统的体系结构

一个适用于环境监测的传感器网络体系结构应该是一个层次型的网络结构,最底层是部署在实际

监测环境中的传感器节点,向上依次是基站,最终连接到 Internet^[3]。通过监测区域部署传感器节点来完成温度、湿度、光照等数据的采集,各节点以自组织方式构成无线网络。各传感器节点收集到的信息经汇聚节点汇聚后,通过 Internet 送给监控中心进行存储、分析和处理,从而完成了对温湿度等数据的实时监测。将该监测系统分为两大模块,分别为数据采集模块和管理模块。数据采集模块由传感器节点对环境因素进行采集,例如温度、相对湿度和光照等。传感器网络中的节点通过统一的路由协议将数据通过无线通信的方式发送到网关,由网关通过互联网将数据发送到后台数据中心,使用监视软件对网络覆盖区域内的参数进行动态实时监测。

系统的拓扑结构如图 1 所示。

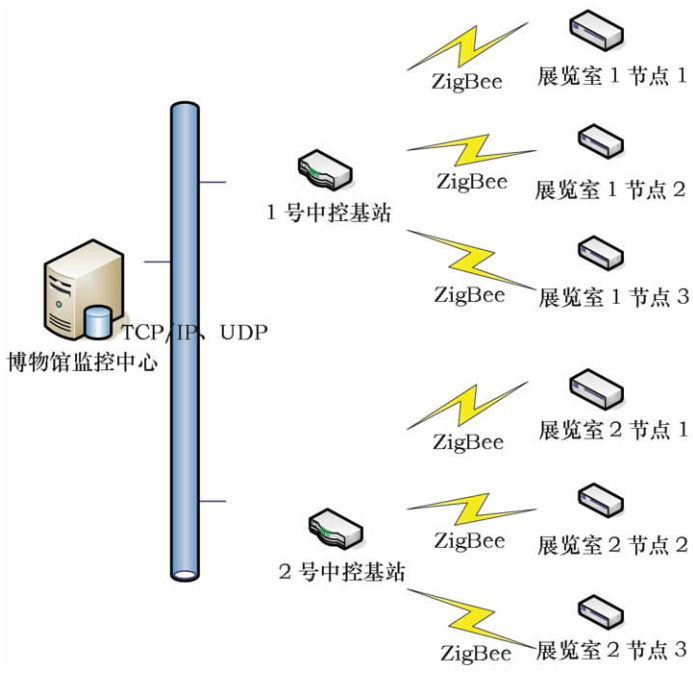


图 1 博物馆室内环境监测系统的拓扑图

Fig. 1 The topology of museum interior environment monitoring system

2 硬件设计

2.1 传感器节点的设计

每一个传感器节点都具有收集数据、处理数据和无线通信功能,传感器节点由传感模块(由传感器和 A/D 转换功能模块组成)、处理模块(包括 CPU、存储器、嵌入式操作系统等)、数据传输模块及能量供应模块组成,结构如图 2 所示。

2.1.1 传感器模块 传感器模块用于感知、获取博物馆室内的环境数据,并将其转换成数字信号。传感器模块中可应用的传感器种类很多,有温湿度传感器 SHT11^[4]、光照度传感器 TSL2550D、振动传感

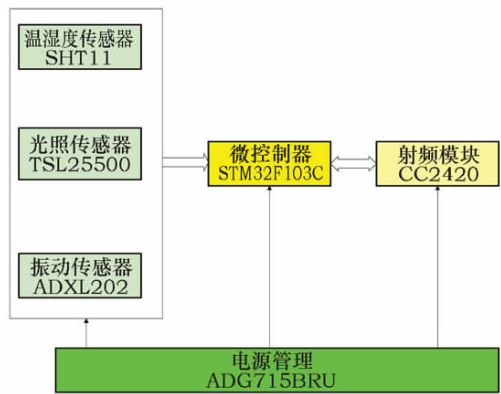


图 2 传感器节点的硬件组成

Fig. 2 The sensor hardware

器 ADXL202 等,分别采集博物馆室内的温度、湿度、光照和振动等参数。

2.1.2 处理模块 处理模块由嵌入式操作系统构成,用于处理传感器采集的信息数据并负责协调传感器节点各部分的工作。处理器模块还具有控制电源工作模式的功能,实现节能。处理器模块还负责处理由其它节点发来的数据。

目前,传感器节点的处理模块多采用 STM32F103C 处理器^[5],它采用了 Cortex™-M3 32 位的 RISC 内核的新型 ARM。工作频率可达 71MHz,内置高达 512kB 的闪存和 64kB 的 SARM,用于存放程序和数据,具有高达 90MIPS 的处理速度。该处理器具有丰富的增强 I/O 端口和联接到两条 APB 总线的外设,有 2 个 12 位 ADC(16 通道) 3 个通用 16 位定时器,并具有 CAN 总线接口, SPI 总线接口, USB 接口和 USART 控制器等多种通信接口。Thumb-2 指令集带来了更高的指令效率和更强的性能,内置紧耦合的嵌套矢量中断控制器,能够处理多达 43 个可屏蔽中断通道和 16 个优先级,对中断事件的响应比以往更迅速,工作电压可以在 2.0~3.6V 之间,能够实现耗电最优化。该增强型处理器芯片支持睡眠、待机、停机三种低功耗模式,可以在要求低功耗、启动时间短和多种唤醒事件之间达到最佳的平衡,非常适合应用于无线传感器网络。

2.1.3 数据传输模块 数据传输模块用于将处理器输出的数据通过无线信道及传输网络传送给远程的控制中心。解决无线通信中载波频段选择、信号调制方式、数据传输速率、编码方式等,并通过天线进行节点间、节点与基站间数据的收发。目前,在无线通信领域应用较多的无线通信模块有 Chipcon 公司的 CC2420^[6]。CC2420 是首款符合 2.4GHz IEEE802.15.4 标准的射频收发器,该器件包括许多额外功能,是第一款适合用于 ZigBee 产品的器件。它基于 SmartRF 03 技术,以 0.18μm CMOS 工艺制成,只需极少外部元器件,性能稳定且功耗极低。CC2420 的选择性和敏感性超过了 IEEE802.15.4 标准的要求,可确保短距离通信的有效性和可靠性。利用此芯片开发的无线通信设备支持数据传输率高达 250kbps 可以实现多点对多点的快速组网。

该芯片除了具有工作电压低、能耗低、体积小、组网灵活等特点外,还具有输出强度和收发频率可编程的特点。外部采用类似于 SPI 的接口,可以和微控制器直接相接,非常适合于低能耗和小体积的场合应用该模块,它提供了一个 12 针的与处理器模

块相连接的接口。

2.1.4 能量供应模块 能量供应模块为传感器中其他几个模块提供工作电源。一旦能量耗尽,节点就退出网络,其他的节点将重新组网,原来的路由将改变,通过能量决定了网络节点的寿命。在用于博物馆环境监测的系统中不适宜采用常规的交流供电方式,因为在展厅内铺设电线可能会增加火灾隐患,所以常采用两节五号电池组成。电源管理单元用于选通所用到的传感器,常采用多路器芯片 ADG715BRU,在 I2C 总线的控制下选通所用到的传感器,即让传感器在使用时才带电,不使用时处于休眠状态,使节点更节能^[7]。

2.2 汇节点的设计

系统中的汇节点用于收集物理位置相对集中的一些展厅内的传感器节点上的数据,将这些数据汇集后,通过无线网络传送给监控中心,监控中心也可以通过汇节点向各个展厅内的传感器节点发布查询和监视命令。本研究所设计的汇节点采用 Crossbow 公司的 MIB520 网关,它作为无线传感器网络的基站,提供的 2 个独立端口:一个用于在线 Mote 编程,另一个用于 USB 数据传输。MIB520 带一个板载处理器,可运行 MICA 处理器、射频板。由于应用 USB 总线,故无需外部供电电源。基站通过无线点和其他节点通信,通过端口和服务器通信。这样,基站主机系统和其他的网络上提供了一个发送和接受信息的桥梁。它构成了网络的一部分,并且是数据从各节点直接穿到它上面。对网络上的其他节点来说,基站节点能无功耗的向 PC 主机发送信息。

3 协议的设计

无线通信模块 CC2420 中的物理层(PHY)和媒体访问控制层(MAC)层协议符合 802.15.4 规范^[8]。物理层(PHY)主要在硬件驱动程序的基础上实现数据传输和数据的管理。数据传输包括数据的发送和接受,管理服务包括信道能量监测、链路质量监测、空闲信道评估。它工作在全球统一、无须申请的 ISM (Industrial Scientific Medical) 频段 2.4GHz 频段,传输速率为 250kb/s。此外,它采用直接序列扩频(DSSS)的方式,调制方面采用了正交相移键控(QPSK)的调相技术。媒体访问控制层(MAC 层)采用的也是 IEEE. 802.15.4 定义的标准。IEEE 802 系列标准把数据链路层分成了逻辑链接控制层(LLC)和媒体访问控制层(MAC 层)。MAC 层的主要目的是定义数据包在介质上怎样进行传输,包括无线链路怎样建立、设备的维护与断开、帧传送与

接收、信道接入和控制、帧校验和快速请求重发、时间间隔管理和广播信息的管理等。其主要功能是处理所有对物理层的访问,并负责完成信标的同步、支持个域网络关联和去关联、提供 MAC 实体间的可靠连接、执行信道接入的 CSAM-CA 机制等任务。

在 IEEE802.15.4 标准中没有定义高层和互操作行的底层,但是一个定制的协议应该获得用户和无线网络之间最大的交互,这种协议包括^[9]: (1) 控制信息(如:脉冲、应答信号),用于检验网络状态;(2) 管理信息,用于访问网络中的部分配置并改变一些重要的监控参数;(3) 数据信息,接收无线网路中的数据;(4) 错误信息,用于探测系统故障,如低电量或者通信故障。

为了提高系统中能量的利用效率,本系统开发了一个新型的基于定向天线、休眠和激活状态的 MAC 协议,每个节点和网关均需配备指向网关定向天线,每个天线管表面有 4/5 被金属覆盖。一旦部署好网络,每个设备被唤醒,进入初始空闲状态(初始化),这使得 CPU 运行并完全启动设备需要一段时间。接着设备进入探索阶段,这个阶段处于监听模式,对时间间隔 T_{set_up} 进行监听。在这个阶段期间,网关开始向每个节点的天线(金属化的表面)广

播一条 HELLO 信息并发送它的 ID 号,一定的时间后退出这一阶段。发送完信息之后,等待一个设定的时间,搜寻节点信息并转换到随后的设备中,重复这个过程直到 T_{set_up} 结束。每个节点都执行一样的过程。很显然,每个节点只利用天线发送、接收信息。此外,每个节点只接收网关发来的 HELLO 信息并丢弃其它的信息。当探索阶段结束后,每个设备进入管理阶段并且开始它的工作周期,监听和睡眠分时段定期交替。根据先前网关发送的 HELLO 信息,每个节点以单一的方式向网关发送 HELLO 信息。在这种情况下,传输阶段是监听状态下发送机再次要求工作之后的时间间隔。相反的是,根据先前的传送阶段的节点的 HELLO 信息,网关以单一的方式向不同的节点天线发送 HELLO 信息。每个设备都保持在状态直到电池耗尽,然后进入切断阶段。

图 3 反映了能量的使用效率,表明了网关作为网络中大量节点函数的相对使用期,横坐标表示节点的数量,纵坐标表示网关的相对使用期。这是通过使用全向天线的四个标准化的天线(4 个金属化的表面)获得的。通过定向天线提供的信息注意到:特别是网关的相对使用期随着节点密度的增大而增大,最大值达到 100%。

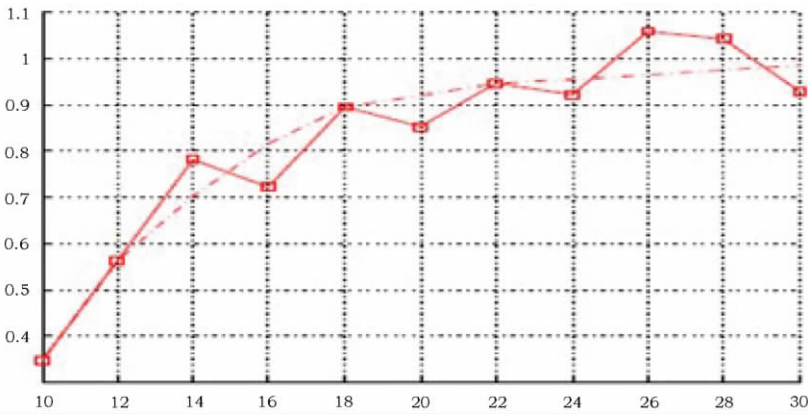


图 3 网关的相对使用时间 VS 节点的数量

Fig.3 Gateway relative lifetime vs. number of nodes

4 系统测试

本系统选取了多个适用于监控博物馆环境因素的传感器节点,这些节点分别对环境因素数据不断地进行实时收集。首先在 PC 机上安装 MoteView^[10] 软件,并且在该软件上对这些传感器节点进行 ID 选择、频率控制、端口号等属性设置。用户通过 USB 接口将 MIB520(网关节点)与 PC 机相连,将

其电源打开,可以在 PC 机上通过 MoteView 完成以下功能:

1) 观察网络的拓扑结构。将传感器节点分别放在室内各个不同的位置,通过上位机上的 MoteView 软件的 Topology 界面可以观察该无线传感网络的拓扑结构,如图 4 所示。实验发现,当改变节点的位置时,MoteView 上的拓扑显示也会随之发生相应的变化。

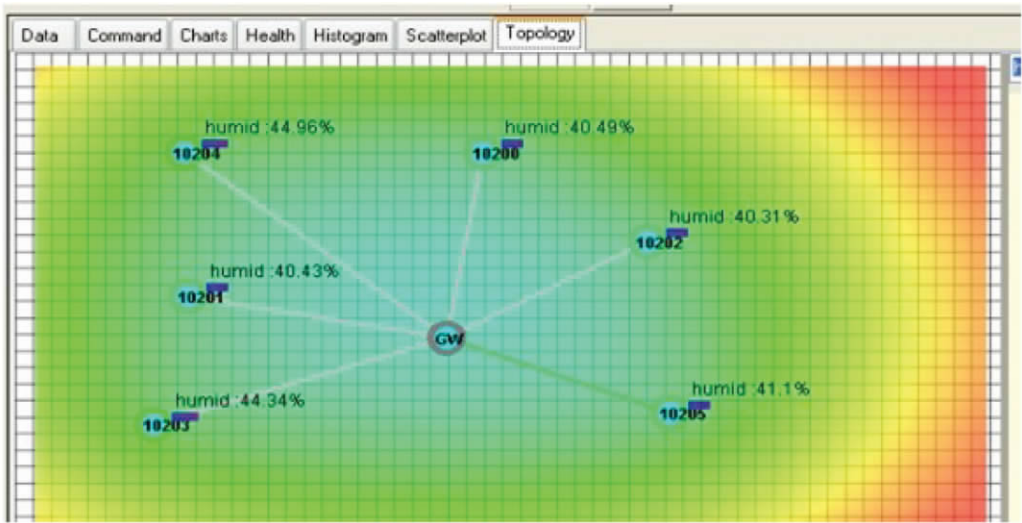


图 4 网络拓扑结构
Fig. 4 Network topology structure

2) 实时收集各种传感器节点的数据。传感器在感知覆盖域采集数据,然后将感知的数据通过单跳或多跳路由传递给数据汇聚节点。数据交递的频率取决于算法所采用的模式。在本网络中,PC 机采取的是连续模式收集各传感器的数据。收集到的数

据与阈值进行比较。若超过阈值就在现场进行报警。轮询的时间间隔可由用户通过 MoteView 的参数设置条件进行修改。图 5 为目前各传感器节点所监测到的数据。图 6 将数据更直观地以曲线图表示出来。

Node Data									
Id	voltage	humid	humtemp	prtemp	press	lightc	accel_x	accel_y	Time
10201	2.69 V	45.57 %	20.29 C	20.39 C	1015.41 mb	264.73 Lux	0.02 g	0.04 g	2011-3-31 14:47:06
10203	3 V	44.89 %	20.35 C	20.61 C	1015.64 mb	135.93 Lux	0.02 g	-0.02 g	2011-3-31 14:47:07
10205	2.79 V	44.81 %	20.23 C	20.49 C	1015.43 mb	143.29 Lux	0.02 g	0 g	2011-3-31 14:47:05

图 5 采集数据显示
Fig. 5 Acquisition data shows

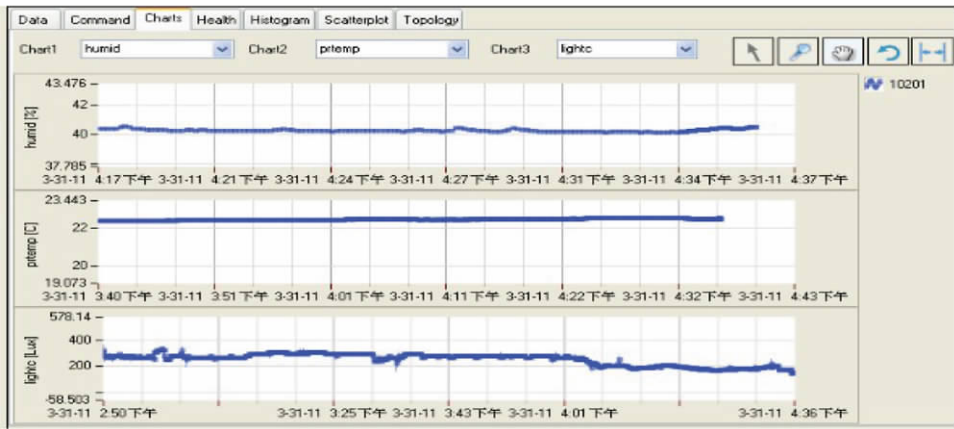


图 6 数据图表显示
Fig. 6 Data shown in the chart

通过在 PC 机上通过 Moteview 软件中的 Alert Manager 功能对每个传感器节点进行报警条件、报警动作及报警信号间隔的设置,为各传感器节点设

定报警阈值。如:对温度传感器节点的报警条件进行如下设置:当温度值连续 10 分钟超过 20 摄氏度时,节点开始每个小时都给管理员发送警报 E-mail,

这样即使管理员出差也可以对博物馆中的环境进行监测。同时,通过该管理界面,还能进行节点报警的

状态进行调整、增添或删除等操作。管理与邮件发送界面分别如图 7 与图 8 所示。

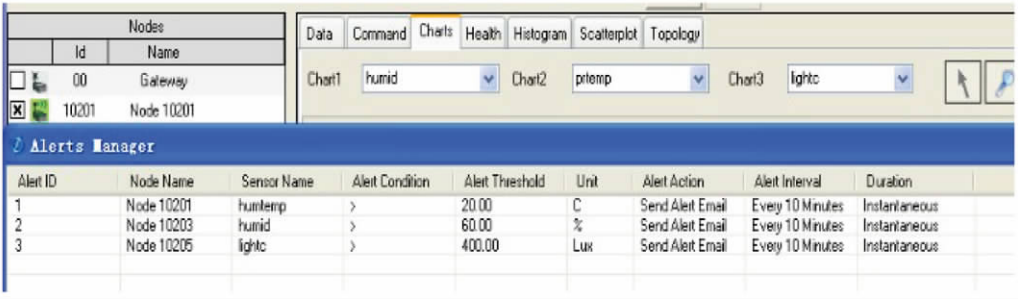


图 7 报警阈值设置
Fig. 7 Set the alarm threshold value

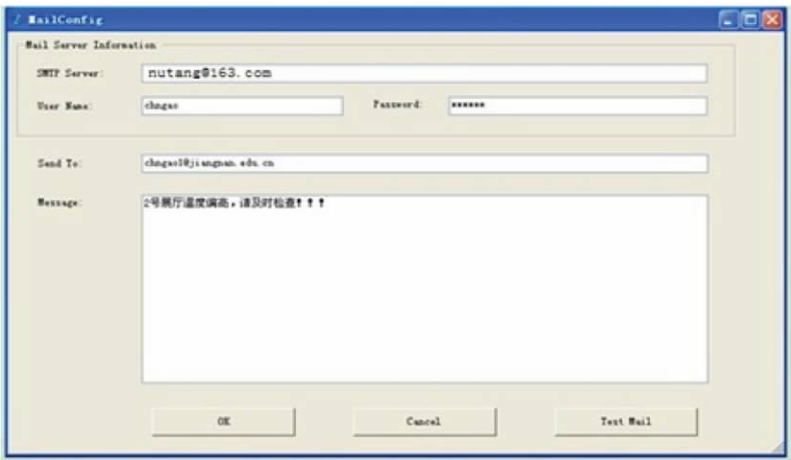


图 8 邮件的发送
Fig. 8 Sent the E-mail

5 结 论

本工作利用物联网技术构建了博物馆室内环境监测系统,给出了系统的总体设计方案,具体地给出了网络中各节点的软硬件设计方法、以及上位机监控软件的功能设计,建立的演示系统表明本博物馆环境监测系统具有良好的工作稳定性和测量准确性,传感器节点所采集到的环境因素的数据达到了预计数据的收集效果。此外,系统具有网络节点体积小,安装和拆卸方便灵活、节点功能扩展性强,通过增加相关的传感器实现其他监测功能等优点。相比传统文物环境监测,该系统不仅在数据采集精确度上显示出了优越性,而且在数据收集、管理和数据结构化存储方面体现了智能化的特点,为文物保护管理与科学研究提供有力的数据支持。

参考文献:

[1] 杜晓通. 无线传感器网络技术与工程应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010: 5-7.

DU Xiao-tong. Wireless sensor network technology and engineering applications[M]. Beijing: Mechanical Industry Publishing House, 2010: 5-7.

[2] 曹明华. 基于无线传感网络的环境监测系统设计和应用[D]. 兰州理工大学, 2009.

CAO Ming-hua. Based on wireless sensor network environment monitoring system design and application[D]. Lanzhou university of technology, 2009.

[3] 任丰原, 黄海宁, 林 闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报, 2003, 14(7): 1281-1291.

REN Feng-yuan, HUANG Hai-ning, LING Chuang. Wireless sensor network[J]. J Software, 2003, 14(7): 1281-1291.

[4] 岳鹏霞. 基于 ZigBee 的无线传感器网络在文物保护中的应用[J]. 现代计算机(专业版), 2009, (8): 181-184.

YUE Peng-xia. Based on ZigBee wireless sensor network in the application for the protection of cultural relics[J]. Mod Computer (profes ed), 2009, (8): 181-184.

[5] STM32F103 datasheet. [S] 意法半导体(ST)公司, 2007, 11.

STM32F103 datasheet[S]. ST Corporation, 2007, 11.

[6] 占 宇, 段智敏, 杨华栋, 等. 基于 CC2420 模块无线温湿度监测系统的设计[J]. 科技创新导报, 2010, (26): 18-18.

ZHAN Yu , DUAN Zhi-ming , YANG Hua-dong , *et al.* Wireless temperature and humidity monitoring system design based on CC2420 module [J]. *Sci Technol Innov Herald* , 2010 , (26) : 18-18.

[7] 何文德,杨凤年,刘光灿. 无线传感器网络在文物保护中的应用[J]. *安防科技* ,2007 (7) :71-73.

HE Wen-de , YANG Feng-nian , LIU Guang-can. Wireless sensor network in the application for the protection of cultural relics [J]. *Secur Saf Technol Mag.* 2007 (7) :71-73.

[8] 王秀梅,刘乃安. 2.4GHz 射频芯片 CC2420 实现 ZigBee 无线通信设计[J]. *国外电子元器件* ,2005 ,(3) :59-62.

WANG Xiu-mei , LIU Nai-an. 2.4 GHz RF chip CC2420 realize ZigBee wireless communication design [J]. *Int Electr Elem* ,2005 , (3) :59-62.

[9] Luca B , Giovanni C , Davide Di P ,*et al.* An embedded wireless sensor network system for cultural heritage monitoring [C] // 2010 Fourth International Conference on Sensor Technologies and Applications ,2010: 185-190

[10] MoteView 用户指南 [S]. Crossbow 公司 ,2007-06-19.

MoteView user guides [S]. Crossbow Corporation ,2007-06-19.

Indoor environmental monitoring of museum based on IOT technology

Ji Zhi-cheng

(Jiangnan University , Jiangsu , Wuxi 214122 , China)

Abstract: Internet of Things (IOT) is the intersectional product of multi-disciplines such as sensor technology , wireless communication , network and embedded computer technology. The IOT technologies with rapid growth have been successfully applied in many areas as soon as the concept of IOT is put forward. Considering the problems and difficulties in current environmental monitoring of museum , an overall solution design based on IOT technologies is proposed to monitor the indoor environment of museum. The software and hardware design plans of sensor node and sink node which has the characters of low energy consumption , low cost and good extensibility are given respectively on the basis of overall solution. Furthermore , a testing platform is established to illustrate the feasibility and stability of the proposed design solution.

Key words: Internet of things; Environmental monitoring; Museum; Wireless sensor nodes