

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.04.027

敦煌莫高窟微环境控制系统的设计*

张春庭,王麟琨*,侯彦年,郭 健

(机械工业仪器仪表综合技术经济研究所 网络控制研究中心,北京 100055)

摘要: 针对敦煌莫高窟洞窟内的微环境改变特别是温度、湿度以及二氧化碳浓度的变化对洞窟内的壁画、佛像等珍贵文物的保存具有重大影响的问题,提出了一套洞窟微环境控制系统。系统主要由自动分隔门和无线传输网路组成。自动门上安装了以数字信号处理器(DSP)为核心的控制器以及执行元件纱帘、密封帘、百叶等。系统通过调整百叶的旋转角度控制进入洞窟的风量和风速。当自然通风不能调整洞窟微环境的时候,采取了主动送风的方法以使洞窟内的温度、湿度保持恒定以及降低二氧化碳的浓度。无线传输网络由无线环境监测传感器、无线多功能网关、环境监测路由器、F5通信模块组成,实现了洞窟微环境数据的采集以及自动门的远程控制。实验结果表明,所设计的微环境控制系统对于调节微环境的温度、湿度以及二氧化碳的浓度具有一定的效果。

关键词: 微环境; 自动分隔门; 数字信号处理器

中图分类号: TP271.2 文献标志码: A

文章编号:1001-4551(2015)04-0571-04

Micro environment control system of Mogao Grottoes in Dunhuang

ZHANG Chun-ting, WANG Lin-kun, HOU Yan-nian, GUO JIAN

(Network Control Research Center, Instrumentation Technology and Economy Institute, Beijing 100055, China)

Abstract: Aiming at micro environmental variation inside the cave of Mogao Grottoes include temperature, humidity and the concentration of carbon dioxide has significant influence to the preservation of cultural relics consist of murals, statues and so on, a set of micro environment control system were developed. The system mainly was composed of automatic partition doors and wireless transmission network. The controller based on the digital signal processor(DSP) as the core, sheer curtain, sealing curtain, shutter etc were installed on the door. By adjusting shutter's rotating angle, the air volume and wind speed into the cave were controlled. When the natural ventilation cannot adjust the cave micro environment, the method of active air supply makes temperature, humidity in the cave keep constant and decreases the concentration of carbon dioxide. Wireless transmission network consists of wireless environment monitoring sensor, wireless multi function gateway, router and F5 communication module, which realizes the cave micro environment data acquisition and auto door's remote control. The result of experiment shows that the micro environment control system has a certain effect on regulating the micro environmental temperature, humidity and the concentration of carbon dioxide.

Key words: micro environment; auto partition door; digital signal processor(DSP)

0 引 言

世界著名遗产地敦煌莫高窟地处戈壁腹地,是我国第一批列入世界遗产名录的世界文化遗产,是中国乃至世界上规模最大、绵延最久、内涵丰富、艺术精

湛、保存良好、影响最大的石窟。对敦煌莫高窟文化瑰宝的保护一直得到我国政府的高度重视。然而阴雨天气和沙尘天气导致洞窟微环境突变,对洞窟壁画的保存带来很大的影响^[1]。在阴雨天气,外界环境空气处于高湿度,随着洞窟内外的空气交换,致使窟内湿度升高,从而导致壁画的损坏;在沙尘天气,沙尘进

收稿日期: 2014-10-13

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2013BAK01B04)

作者简介: 张春庭(1975-),男,江苏如皋人,高级工程师,主要从事现场总线、机电控制方面的研究。E-mail: zct2001@sina.com

通信联系人: 王麟琨,男,教授级高工。E-mail: wlk@tc124.com

入洞窟,沉降于壁画或塑像表面,不仅从视觉上影响壁画的美观,而且对壁画造成潜在的危险^[2]。此外随着旅游业的不断发展,大量的游客参观使洞窟微环境改变,已经威胁到壁画的保存^[3]。游客参观带来的洞窟环境改变主要集中在温度、湿度、CO₂、微生物和气溶胶等。CO₂可造成壁画处于一个酸性环境中,对壁画保护造成潜在的威胁^[4]。

莫高窟洞窟保护的最终目标是开发一套微环境控制系统,以更好地调节洞窟内的微环境包括温度、湿度以及二氧化碳含量,从而使洞窟内的壁画、佛像等珍贵文物得到更好的保护。

为使洞窟的微环境得到有效控制,本研究自主设计洞窟的自动分隔控制门,在自动分隔控制门上安装微环境控制系统的控制器和控制系统的执行元件包括纱帘、密封帘、百叶等。

1 微环境控制系统的结构

整个微环境控制系统包括自动分隔门、无线传感器、多功能网关等模块。系统总体设计架构如图1所示。

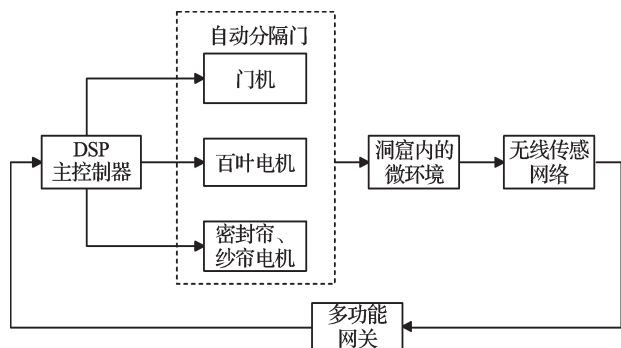


图1 微环境控制系统的结构示意图

无线传感器采集的温度、湿度及二氧化碳浓度等环境信息通过多功能无线网关发送给安装在自动分隔门上的DSP主控制器,控制器根据洞窟内的微环境数据变化做出反应,控制自动分隔门上的门机、百叶以及密封帘、纱帘的动作,形成一个闭环控制系统。从而保证洞窟内的温度、湿度相对恒定以及降低二氧化碳浓度^[5]。

2 自动分隔门的设计

自动分隔门为单开门,可自动打开与关闭,它使洞窟内外形成了两个相对独立的空间。可实现防尘、自然通风、防止湿度扩散功能。

2.1 自动分隔门的结构设计

自动分隔门包括主控制器,门机,纱帘,密封帘,百叶,无线多功能网关,结构示意图如图2所示。

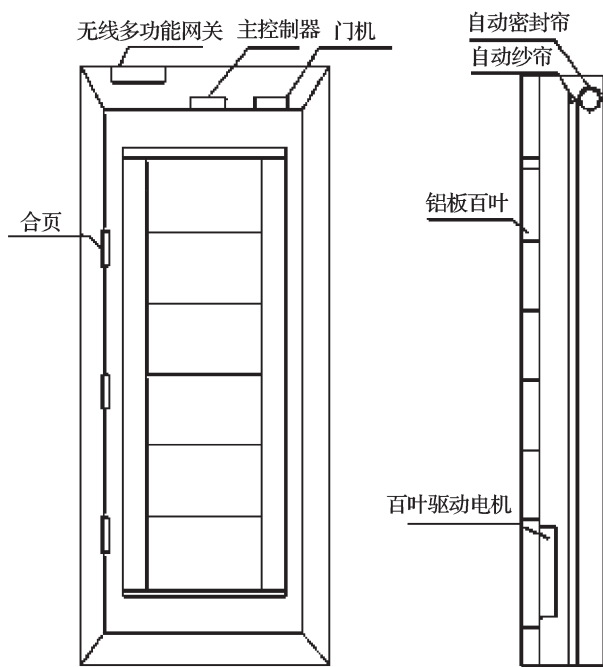


图2 自动分隔门的结构示意图

门体采用不锈钢材料,门机保证了分隔门可以自动打开和关闭,在雨雪、大风等恶劣天气条件下,门可以自动关闭,当通过调整百叶不能满足通风量时,门自动打开。通过调整百叶的旋转角度,控制进入洞窟的风量和风速。纱帘主要起到防虫功能,密封帘主要是防尘和防沙。纱帘和密封帘使用一个电机带动,纱帘和密封帘切换升起和落下。当通过自然通风不能调整洞窟内的微环境时,可以经过自动门向洞窟内部充入干燥的空气,对洞窟微环境的湿度和二氧化碳浓度进行主动干预和控制。

实际使用时,考虑到安全,自动门使用的是直流24 V电源,为主控制器、百叶、门机、纱帘和密封帘供电。

2.2 主控制器的设计

主控制器包含一个TMS320F28335DSP芯片和其它外围的元器件,与门机、纱帘、密封帘、百叶、无线多功能网关等模块相连,构成了自动分隔门的核心器件。主控制器负责从多功能网关接收环境数据,经过算法解算后,向电机输出控制量,电机接收控制信号执行控制命令。直流电源负责向控制板卡、百叶电机、门机、密封帘、纱帘电机供电。主控制器完成的具体功能包括:

(1) 门的动作。装在洞窟门上的主控制器根据洞窟内的微环境数据做出相应动作,包括:门的自动打开与闭合,门上百叶的自动旋转,纱帘、密封帘的升起与落下等。

(2) 状态反馈与监测。洞窟内的微环境数据由Zigbee无线模块上传给多功能网关,多功能网关将数

据通过 Zigbee 模块发送给 DSP 主控制器,同时利用 WIFI 将数据传给上位机进行实时监测。当微环境数据超标时,主控制器向上位机报警。

主控制器使用的 DSP 芯片是 TMS320F28335。它内部有一个 32 位的单精度 FPU,实现浮点运算的功能,使数值的表示范围和精度有所增加;采用哈佛结构,可以用 C/C++ 语言进行大量的数学运算;32×32 位的 MAC 操作及 8 级流水线技术带来极高的程序执行速度^[6];支持 58 个外围设备中断的外围设备扩展控制器,管理片上外围设备和外部引脚引起的中断请求;片内存储器包括 256 K×16 的 Flash, 34 K×16 的 SARAM, 1 K×16 的 OTPROM 和 8 K×16 的 Boot ROM,均受密码保护,用来保护 Flash/OTP 和部分 SRAM,从而保证了相关寄存器的数据安全^[7]。

为了实现多功能网关与主控制器之间的数据传输使用了 F5 通信模块。F5 模块为射频-串口的透明传输模块,当射频端有数据接收时,将有效数据按一定的协议通过串口转发;同理,当串口端有数据接收时,将有效数据按一定的协议通过射频转发。

3 无线传输网络

无线传输网络的结构示意图如图 3 所示。

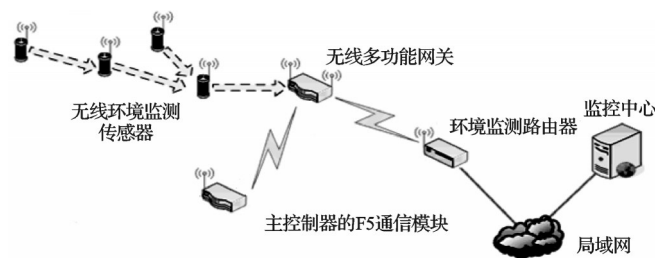


图3 无线传输网络结构示意图

无线传输网络由无线环境监测传感器、无线多功能网关、环境监控路由器和 F5 通信模块组成。无线环境监测传感器是微环境控制系统的状态反馈单元,实时将微环境信息返回到输入端,在控制器内计算得到控制量,驱动执行机构向目标位置转动。无线环境监测传感器包括温、湿度传感器以及二氧化碳浓度传感器。

无线多功能网关有两个功能:一是把洞窟内的微环境数据发送给主控制器;二是利用 WIFI 把自动分割门的状态包括门的开启、密封帘和纱帘的升起或落下、百叶的开启角度以及环境报警等信息发送给监控中心。同时监控中心也可以通过无线多功能网关给主控制器发送命令,实现远程控制。

F5 模块为射频与串口按照一定协议相互转发的

设备。网关发送的环境数据通过 F5 模块转化成串口数据送给 DSP。同时 DSP 把门的状态数据传送给 F5 模块,F5 转化为射频信号发送给网关。串口通信协议如表 1 所示。

表1 串口通信协议

字段项	帧头	帧类型	载荷长度	载荷	CRC 校验
字段长度/B	2	1	2		2
字段值	0xFAFD				

帧头:0xFA 0xFD,表示一帧起始。帧类型:表示该帧类型,同时该字段最高位表示帧的流向,回复 ACK 帧时将最高位置 1。帧类型包括控制帧、控制回复帧、数据帧、数据回复帧。载荷长度:指明载荷的长度。载荷:有效数据。校验:CRC 校验算法采用 CRC-16 位校验法,POLY 值为 0x1021。CRC16 校验范围从帧头到载荷。

4 实验

为了验证洞窟微环境控制系统对洞窟微环境的调节效果,笔者实际搭建了无线传输网络和模拟洞窟,通过调整自动分隔门上百叶的旋转角度来改变进入室内的风量和风速,从而达到调节室内湿度的目的。本研究采用横流风扇模拟外界的通风。由于莫高窟 313 洞窟内的温度常年维持在 16℃~17℃^[8],因此实验中没有考虑温度。

无线环境温湿度传感器选用杭州亿脑数字科技有限公司的 WEMS-RHT,具有功耗低,传输距离远,外围接口丰富等特点。设备最低休眠电流可低至 15 μA。组网方式灵活,支持点对点、星型网、树型网拓扑。本次实验采用星形组网,传感器如图 4 所示。

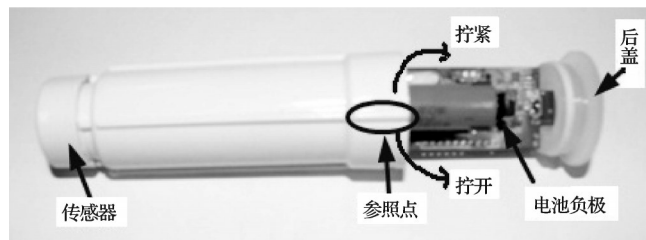


图4 无线传感器示意图

主控制器安装在门的上部,主控制器的安装位置如图 5 所示。

百叶从 0° 旋转到 90° 需要 17 s,控制电机的旋转时间,达到调整百叶旋转角度的目的。调整百叶角度是控制进入洞窟内空气的风量和风速。主要是考虑如果进入洞窟内的风速过快,会使洞窟壁面的风速过大,长时间对壁画会造成一定的损害。因此洞窟湿度较大时,短时间内百叶开启角度比较大,随着时间的延长,百叶的开启角度会慢慢变小,使洞窟内的湿度慢慢下降到标准值。经过敦煌莫高窟常年的观测,洞



图5 主控制器的安装位置图

窟的湿度控制在60%最适宜^[9]。在模拟洞窟的条件下,DSP主控制程序的流程^[10]如图6所示。

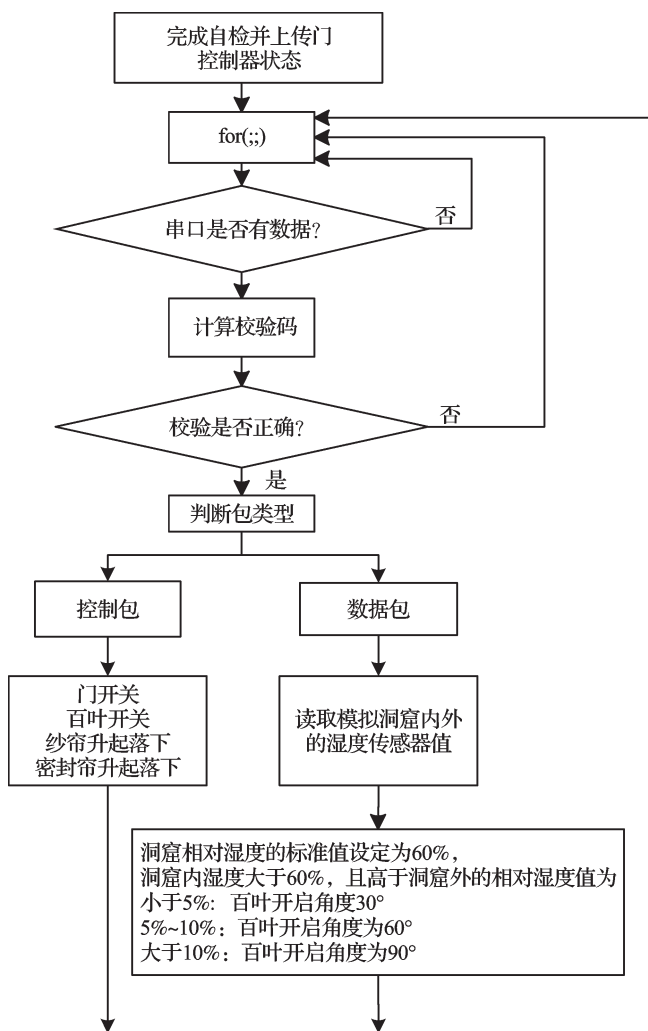


图6 主控制程序流程图

实验中,笔者设想通过加湿的手段设定模拟洞窟的湿度值为65%,模拟洞窟外的湿度为40%,通过调整百叶的角度,使模拟洞窟内的湿度达到60%后,关闭百叶停止洞窟内外的空气交换,模拟洞窟内的相对湿度基本稳定。因此对于洞窟内的相对湿度低于洞窟外湿度,且洞窟外湿度小于60%,通过自然通风、调整百叶的角度手段可以达到调节洞窟内的湿度目的。对于在阴雨天气,洞窟内湿度比较大,洞窟外的湿度也比较高时,需要附加主动输送干燥空风的手段来调控洞窟内的湿度。

5 结束语

本研究提供了一种用于洞窟微环境控制的自动分隔门,自动分隔门集成了百叶、门机、纱帘和密封帘。通过调整百叶的旋转角度,控制进入洞窟的风量和风速来达到调节洞窟内湿度的目的。

同时,本研究借助无线 Zigbee 技术获得洞窟内的温度、湿度以及二氧化碳含量等微环境信息,与敦煌莫高窟的环境监控中央系统互联,实现本地控制、远程控制两种策略的有机结合。

参考文献(References):

- [1] 李最雄. 敦煌石窟保护工作六十年[J]. 敦煌研究, 2004(3): 10-26.
- [2] 郑爱平. 文物保存环境存在的问题及应采取的措施[J]. 暖通空调, 2000(2): 63-65.
- [3] 郭宏. 文物保存环境概论[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [4] 李最雄. 敦煌石窟保护现状和面临的任务[J]. 敦煌研究, 2000(1): 13-26.
- [5] 周岭松, 余春暄. 基于 ZigBee 技术的温、湿度控制系统[J]. 电子测量技术, 2011, 34(6): 54-57.
- [6] 党瑞荣, 高国旺, 任志平. TMS320 系列 DSP 原理、结构及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [7] 赵红怡. DSP 技术与应用实例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [8] 侯文芳, 薛平, 张国彬, 等. 莫高窟第217窟微环境监测分析[J]. 敦煌研究, 2007, 105(5): 93-99.
- [9] 王亚军, 张艳杰, 郭青林, 等. 敦煌莫高窟第87窟温湿度特征[J]. 兰州大学学报, 2014, 50(1): 1-6.
- [10] 任润柏, 周荔丹, 姚岗. TMS320F28X 源码解读[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.

[编辑: 张豪]

本文引用格式:

张春庭, 王麟琨, 侯彦年, 等. 敦煌莫高窟微环境控制系统的设计[J]. 机电工程, 2015, 32(4): 571-574.

ZHANG Chun-ting, WANG Lin-kun, HOU Yan-nian, et al. Micro environment control system of Mogao Grottoes in Dunhuang[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015, 32(4): 571-574.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>