

宁晓青,傅文博.地震观测无人值守台站信息智能化观测系统研究[J].地震工程学报,2019,41(4):999-1005.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2019.04.999
NING Xiaoqing, FU Wenbo. An Information Intelligent System for Seismic Observation at Unattended Stations[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2019, 41(4): 999-1005. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2019.04.999

地震观测无人值守台站信息智能化观测系统研究

宁晓青¹, 傅文博²

(1. 运城职业技术学院, 山西 运城 044000; 2. 山西大同大学 数学与计算机科学学院, 山西 大同 037009)

摘要: 为了保证地震观测台站的正常运行,解决当前台站动行观测系统存在的抗干扰性不高、观测结果与实际结果不一致、资源利用不足及工作效率不高等问题,利用多种技术相结合的方式,设计一套集设备管理、地震观测无人值守台站信息采集、信息通讯、信息管理与应用为一体的地震观测无人值守台站信息智能化观测系统。考虑到地震观测台站工作任务的特殊性,分析台站运行状态观测系统应具备的功能;为了实现实时监测、及时抢修以及远程操控,采用具有双通道可切换的 12 V 稳压直流电源和 UPS 作为观测系统供电设备,采用有线、无线双线路备份的方式集成网络通信系统,并实现人机交互设计;在此基础上,重点设计包括用户管理、值班工作管理、台站设备管理、台站运行状态观测、故障预警以及故障派单及抢修等系统软件部分,完成系统设计。性能测试结果表明,设计系统能够在网络中断时继续保持信息传输连续率,工作效率较高,具有较强的抗干扰性、稳定性和可靠性,同时没有造成较大的资源浪费。

关键词: 地震观测台站; 运行状态; 信息; 智能化; 观测系统

中图分类号: P315.61

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2019)04-0999-07

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2019.04.999

An Information Intelligent System for Seismic Observation at Unattended Stations

NING Xiaoqing¹, FU Wenbo²

(1. Yuncheng Polytechnic College, Yuncheng 044000, Shanxi, China;

2. School of Mathematics and Computer Science, Datong University, Datong 037009, Shanxi, China)

Abstract: To ensure the normal operation of seismic observation stations and solve the problems existing in the current system, such as the weak observation anti-interference ability, the inconsistency between the observation and actual results, the inefficient utilization of resources, and the inadequate working efficiency, using the combination of various techniques, an intelligent seismic observation system of unattended station information is designed. The system integrates equipment management, information collection, information communication, information man-

收稿日期: 2018-11-26

基金项目: 山西省教育科学“十三五”规划项目;立足地方发展的产教融合大数据专业人才培养模式研究(GH18045);山西大同大学校级研究项目;产教融合的大数据专业人才培养模式研究(XJG2018107);国家“863”计划基金资助项目(2017AA01Z138)

第一作者简介: 宁晓青(1978-),男,山西运城人,硕士研究生,讲师,工程师,研究方向:计算机网络技术、智能监控技术。

E-mail: ningxiaoping659@163.com。

通信作者: 傅文博(1976-),男,山西大同人,硕士研究生,副教授,研究方向:物联网技术,网络安全。

agement, and application. Considering the particularity of the working task of seismic observation stations, the required functions of the observation system are analyzed. To realize real-time monitoring, timely repair, and remote control, a 12 V stabilized DC power supply and a UPS with two channels are used as the power supply equipment of the observation system. A network communication system is integrated by adopting a wired and wireless dual-line backup mode, and a man-machine interaction design is realized. On this basis, the system software, including user management, on-duty work management, station equipment management, station operation state observation, fault early warning, and fault emergency repair are mainly designed. The performance test results show that the design system can maintain a continuous rate of information transmission when the network is interrupted, and the work efficiency is high. It has a strong anti-interference ability, stability, and reliability, and does not cause a large waste of resources.

Keywords: earthquake observation station; operation state; information; intelligence; surveillance system

0 引言

地震观测无人值守台站运行环境信息包括台站供电电压是否稳定、设备工作环境温度和湿度是否适宜、设备是否发生死机或存在安全隐患等。在2000年时我国已有超过200个地震观测台站获得智能化技术改造,这些地震观测台站为地震灾害预报发挥了重要作用,预计截止的2020年地震观测台站智能化技术改造将取得更大的突破,使得地震观测台站整体性能都达到国家先进水平^[1]。为了实现地震观测无人值守台站信息的实时、准确、自动化观测和管理,地震观测无人值守台站信息观测的必要性尤为突出,可以从以下几个方面了解:

(1) 正常情况下地震观测台站设备供电均由当地电网统一供电,当遇到雷电、暴雨天气,普通的交流供电极其危险,地震观测台站设备容易受到雷电袭击引发设备故障或损毁。据可靠资料显示,造成地震观测台站设备故障的因素中有超过80%是因为雷电引起的^[2]。显然加强地震观测台站设备供电观测对于保证设备连续工作具有重要现实意义。由此说明,在雷电高发地区,地震观测台站管理人员可以通过关闭设备交流电源,采用电瓶供电的方式避免雷电带来的危害^[3]。

(2) 在地震观测台站设备正常运行过程中,由于受到强干扰时有引发设备死机的现象,大多数情况下设备通过内部电路能够实现自动恢复,但也有个别情况需要人工干预强制复位才能恢复正常。

(3) 地震观测台站设备正常工作温度一般在 $-30\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内,但我国南北地区温差较大,特别是北方地区冬季温度存在 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下的情况,地震观测台站设备在如此低温情况下会运行受阻^[4]。

为了解决这一问题,管理人员不得不通过局部加温的方式维持温度(例如将设备放入木箱内,并采用大功率灯泡加热木箱等),但这种做法操作困难相对较大,而且电能消耗较大。

上述情形充分说明急需一种有效的技术手段代替人工干预,以便于地震观测无人值守台站实时、高效、稳定运行,以保证地震观测台站的正常运行。

1 地震观测无人值守台站信息智能化观测系统研究

1.1 智能化观测系统总体架构

地震观测无人值守台站信息智能化观测系统是一个集设备管理、信息采集、信息通讯、信息管理与应用为一体的集成应用系统,通过采用传感器技术、互联网技术、信息技术、可视化技术等相融合的方式实现地震观测台站故障的准确定位和及时抢修^[5]。

由于地震观测无人值守台站工作任务的特殊性,设计其运行状态观测系统时应具备以下功能:

(1) 系统可通过利用视频观测、门禁系统等设备实现地震观测台站故障检测和设备运行状态信息的实时传输;

(2) 系统需集地震观测台站信息观测、设备信息管理、设备故障预警、故障派单和故障抢修等功能于一体;

(3) 以故障派单形式对地震观测台站设备故障进行实时抢修和信息管理,并通过智能终端将故障抢修信息上传给主控制单元,实现设备故障抢修全过程实时跟踪,并以此规范地震观测台站设备故障抢修流程。

(4) 对地震观测台站信息历史资料(包括故障、抢修信息)按照故障类型、时间、观测台站等进行整理、归档和打印,存入系统数据库,便于以后查询;

(5) 以智能化和可视化方式实现地震观测台站

设备故障的多单元协同处理,促进系统各个单元之间的协调沟通^[6]。

根据地震观测无人值守台站信息观测系统具备的功能设计了如图 1 所示的系统总体架构。

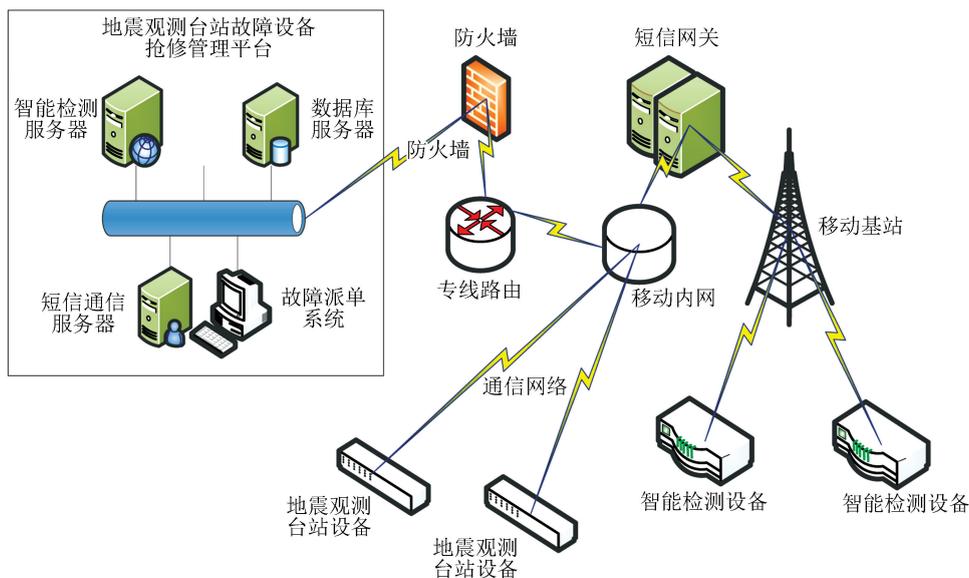


图 1 地震观测台站运行状态观测系统总体架构

Fig.1 Overall architecture of the surveillance system of the seismic observation station

从图 1 中可以看出,系统可以通过在地震观测台站的智能检测设备、可控电源分配器、视频观测设备、门禁设备等实现地震观测台站运行状态的远程实时观测,并根据台站运行状态信息判断设备是否发生故障,进而通过故障派单系统将故障预警信息发送给管理人员。

其中地震观测台站的智能检测设备负责采集、观测和读取台站运行状态信息以及网络通信参数等,台站运行状态信息主要包括台站温度、湿度信息、台站供电参数等。通过 TCP 传输协议查询地震观测台站设备之间的网络连通情况,包括路由器、数据交换机等网络连通信息。系统还可以根据智能检测设备的开关远程控制电源分配器的通断,保障台站运行状态信息的正常收发。

地震观测台站的视频设备主要负责实时观测地震观测台站外部环境和内部设备运行情况,通过地震观测台站硬盘录像机的存储功能,将设备收集到的相关视频信息保存起来。

1.2 观测系统关键技术分析

(1) 冗余设计

地震观测台站的运行状态观测系统设计的最终目的是为了实现在台站设备故障实时监测、及时抢修

以及远程操控。由此说明系统的可靠性特别重要,冗余设计对于提高观测系统运行可靠性及运行效率具有重要作用^[7]。冗余设计可以通过采用两套相同软硬件配置的系统,当其中一套系统出现故障时,另外一套可以立即启动以保证观测系统的继续运行,提高观测系统的稳定性和可靠性。鉴于地震观测台站无人值守的运行状态状态以及以往设备故障抢修的经验可知,引发观测系统故障的主要因素是供电系统和网络通信系统冗余。

供电系统是整个观测系统正常运行的唯一动力,一旦观测系统的供电部分发生故障,后果不堪设想。研究采用具有双通道可切换的 12 V 稳压直流电源和 UPS 作为观测系统供电设备,能够有效保证观测系统的稳定、持续工作。

网络通信系统是地震观测无人值守台站信息传输的重要通道,是连接整个观测系统与远程客户端之间的重要纽带,一旦网络通信系统发生故障,远程客户端就会失去对观测系统的实时控制,无法执行远程操控,也无法及时获悉台站运行状态。为了保证地震观测无人值守台站信息传输的安全性及稳定性,研究采用具有有线、无线双线路备份的方式集成网络通信系统,能够在观测系统网络发生中断的情

况下继续保持信息通讯。

(2) 人机交互设计

地震观测台站运行状态观测系统采用三维模型模拟整个台站内外部环境,将台站内实际运行的设备运行状态信息通过网络通讯系统发送给远程客户端,并利用可视化技术等将这些信息更加直观地呈现在远程客户端的人机交互界面上,便于观测系统后台管理人员实时了解地震观测台站运行状态,极大地方便了远程操作人员的工作。

考虑到关键技术分析要求,本系统主要对系统软件进行分析,以此实现系统设计。

1.3 系统软件部分设计

地震观测无人值守台站信息智能化观测系统软件部分由用户管理模块、值班工作管理模块、台站设备管理模块、台站运行状态观测模块、故障预警模块以及故障派单抢修模块六部分组成,各个模块的具体功能描述如下:

(1) 系统用户管理模块

该模块主要负责确定系统后台管理人员的权限和职责。根据权限大小划分用户依次为:系统管理员、地震观测台站网络值班人员、台站设备值班人员、各个地区地震局业务管理人员、地震观测台站看管人员等。其中,系统管理员拥有最高权限,能够实现地震观测无人值守台站信息的录入、修改、查询、远程观测、管理故障预警和抢修等^[8];地震观测台站网络值班人员负责查询和调取台站中的所有观测设备的观测信息,如果发现疑似故障,则利用故障派单系统通过短信发送的形式通知给台站设备值班人员;台站设备值班人员在接到派单后进行故障处理,通过远程查询和调取台站内各个观测设备的观测信息查找故障,实现设备重启,通常情况下该岗位人员负责两项任务,一是在值班日正常值班,等待故障派单,并通过智能终端设备查看故障抢修进程;二是非值班人员根据故障派单先后顺序和故障紧急程度进行故障抢修^[9]。

(2) 系统值班工作管理模块

该模块主要负责在以月为单位的日历上安排、管理排班数据,同时负责记录值班日志,包括地震观测台站设备故障预警、故障派单、故障抢修等事件。

(3) 系统台站设备管理模块

该模块是整个系统的电子档案核心。在该模块中,系统后台管理人员可以随意查看台站设备的各种属性信息,包括地震观测台站建设情况、地理位

置、岩层信息、网络通信方式、看管人员值班情况等。台站设备属性信息包括台站设备型号、IP地址、摄像头布控位置、门禁设备编号等。

(4) 系统台站运行状态观测模块

该模块包括以下五大功能:

①地震观测台站运行状态实时观测和历史资料采集、存储、远程操控;

②地震观测台站门禁状态观测,远程开关门控制;

③检测设备采集的地震观测台站运行状态数据观测;

④地震观测台站电源分配器观测和远程操作;

⑤地震观测台站网络通信状态观测。

(5) 系统故障预警模块

系统通过采用API接口实现地震观测台站运行状态观测系统与数据库服务器之间的通信互联,经系统数据库服务器实现多线程指令收发^[10-11]。一旦系统发生故障需要抢修,即启动短信报警功能,包括地震观测台站设备故障报警通知、故障派单通知、故障抢修通知、故障抢修完成反馈等短信提示。具体报警流程如图2所示。

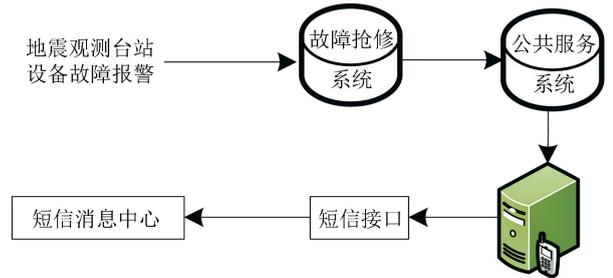


图2 地震观测无人值守台站设备故障短信报警流程

Fig.2 SMS alarm flow of equipment failure in unattended stations for seismic observation

(6) 系统故障派单抢修模块

该模块是整个观测系统的核心,是观测系统能否正常运行的关键。采用具有安全性能较好、管理模式更加精细化、程序化的工单系统实现故障派单抢修,能够有效降低故障抢修经济成本。系统故障派单抢修模块主要由台站网络值班人员或观测系统自动发起,台站网络值班人员通过智能终端程序接收、处理,并上传故障派单任务相关资料,台站设备看管人员负责运维资源统一调度。同时台站网络值班人员可以通过智能终端设备实时查看故障派单进程,并审核台站设备故障抢修结果。图3给出了系统故障派单抢修模块具体工作流程。

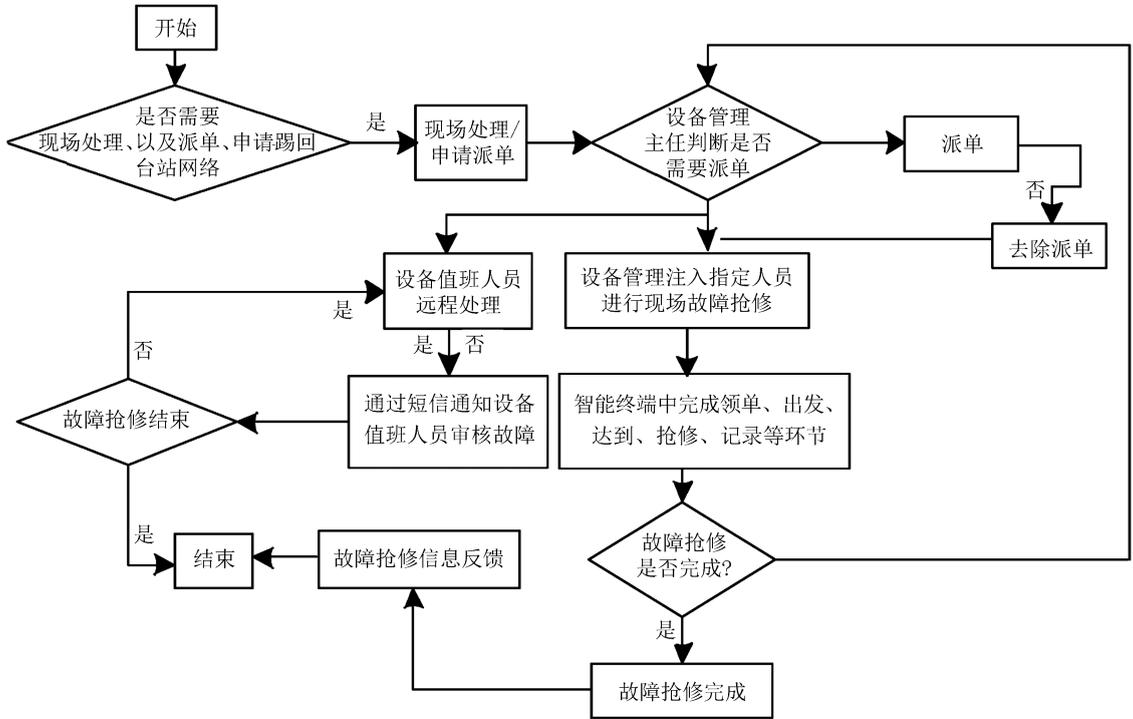


图 3 系统故障派单抢修模块具体工作流程

Fig.3 Specific work flow of dispatch repair module for system failure

2 系统实用性能测试

为了检验研究设计的地震观测无人值守台站信息智能化观测系统的实用性能,在 Microsoft Visual Basic6.0 软件环境下运行该系统。本文研究山西省的无人值守地震观测台,地理坐标在 110°15′~112°04′E 和 34°35′~35°49′N 之间。以该地震观测台站为例,运行设计观测系统,模拟观测该地震台站运行情况,已知该地震台站实际运行过程中共发生了 50 次故障,对比采用设计系统观测该地震台站运行情况与实际运行情况,对比结果如表 1 所列。

表 1 地震观测台站运行状态观测和实际结果对比

Table 1 Comparison between observed and actual results of running state of seismic observation stations

编号	地震观测台站故障类型	观测故障次数	实际故障次数
1	供电故障	21	21
2	网络通信断点故障	3	3
3	网络通信设备故障	15	15
4	雷电天气故障	1	1
5	UPS 主机故障	1	1
6	台站运行状态信息采集故障	2	2
7	传感器故障	3	3
8	死机	2	2
9	其他故障	2	2
10	总计	50 次	

观察表 1 的实验结果可以发现,对于地震观测台站运行过程中发生的供电故障、网络通信断点故障、网络通信设备故障、雷电天气故障、UPS 主机故障、台站运行状态信息采集故障、传感器故障、死机和其他故障类型,采用设计系统均能实现准确观测。这是由于设计系统通过采用传感器技术、互联网技术、信息技术、可视化技术等多种技术相融合的方式,能够实现地震观测台站故障的准确定位,并将台站故障信息实时上传给远程观测中心。

图 4~图 6 分别给出了设计系统的抗干扰性能、能耗情况和运行效率(包括台站故障预警耗时、台站故障派单耗时以及台站故障抢修耗时三部分)。图中的序号 1~8 对应八种台站故障类型。实验选取地震观测无人值守台站信息传输连续率作为观测系统抗干扰性能测试指标。

根据图 4 可以看出,对于八种不同类型地震观测台站故障,采用设计观测系统均具有较高的信息传输连续率。其中,信息传输连续率最低的是 UPS 主机故障,但是发生 UPS 主机故障时,信息传输连续率仍然没有低于 80%。这是由于系统采用了具有双通道可切换的 12 V 稳压直流电源和 UPS 作为观测系统供电设备,当 UPS 主机发生故障时,12 V 稳压直流电源即可启动,保证了观测系统供电正常,并且设计系统采用了两套相同软硬件

配置的系统,当其中一套系统出现故障时,另外一套立即可以启动以保证观测系统的继续运行。由此说明,设计系统具有较强的抗干扰性、稳定性和可靠性。

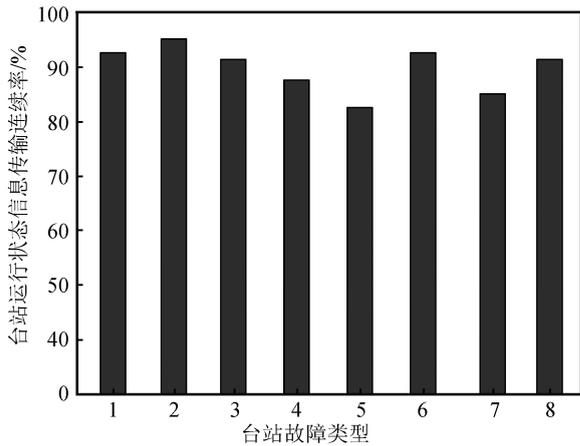


图4 设计系统运行过程中的抗干扰性能测试

Fig.4 Anti-interference performance test during system operation

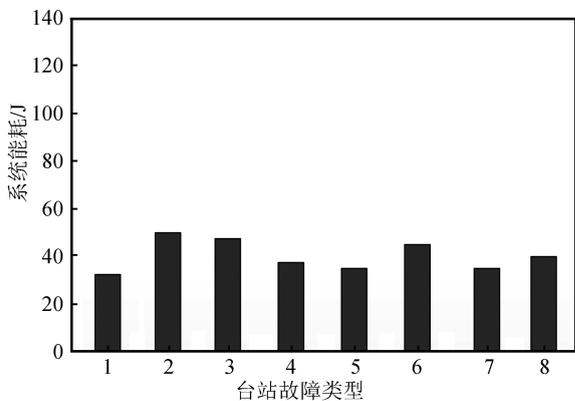
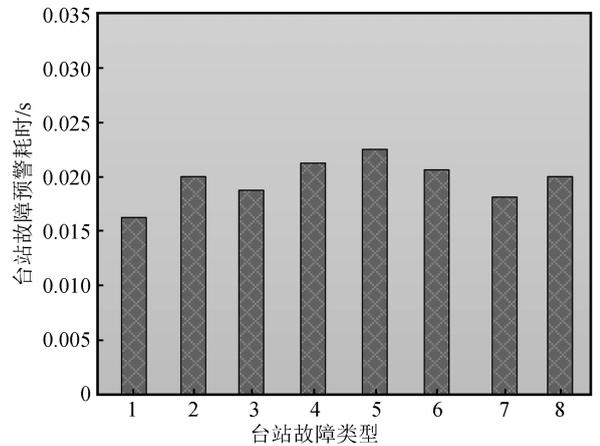


图5 设计系统运行过程中的能耗情况

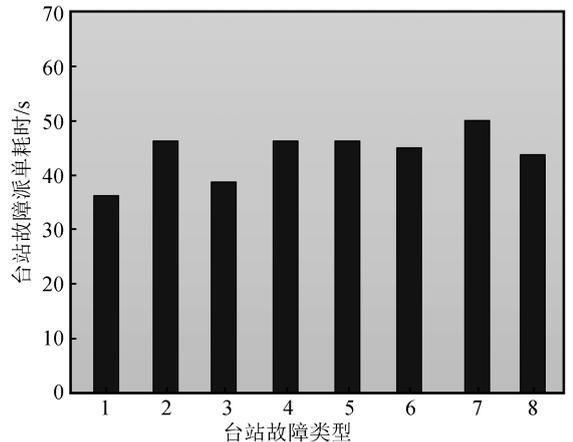
Fig.5 Energy consumption during the system operation

根据图5可以看出,无论地震观测台站发生何种故障均没有造成观测系统发生较大能耗,说明设计系统没有造成资源浪费。

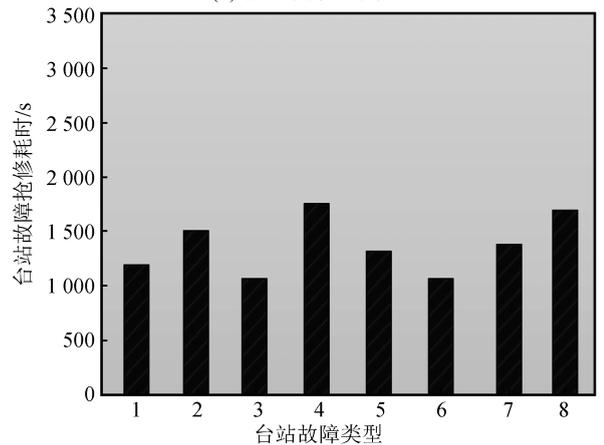
从图6(a)中可以看出,对于八种不同类型地震观测台站故障,设计系统均能实现快速预警,平均预警耗时在0.015~0.020 s之间,说明设计系统能够实现地震观测台站故障的快速预警,对后续实现及时的故障派单和现场抢修具有重要意义;从图6(b)中可以看出,对于八种不同类型地震观测台站故障,设计系统在收到预警信息后能较快完成故障派单,派单时间最高没有超过50 s,说明设计系统具有较快的故障派单效率;根据图6(c)可知,对于八种不同类型地震观测台站故障,设计系统可以在



(a) 台站故障预警耗时



(b) 台站故障派单耗时



(c) 台站故障抢修耗时

图6 系统运行效率测试

Fig.6 System operating efficiency test

1 000~2 000 s 时间范围内通过远程操作完成台站故障抢修,恢复观测系统正常运行。图6测试结果证明,设计系统具有较高的工作效率,这是由于地震观测台站运行状态观测系统采用三维模型模拟整个台站内外环境,将台站内实际运行的设备运行状态信息通过网络通讯系统发送给远程客户端,并利用可视化技术等将这些信息更加直观地呈现在远程

客户端的人机交互界面上,便于观测系统后台管理人员实时了解地震观测台站运行状态,极大地方便了远程操作人员的工作。

3 结论

近年来大规模开展地震观测台站建设极大的丰富了人们对地壳内部活动和结构的认识,并取得了一系列举世瞩目的成就。实现地震观测台站的高效、精准运维与管理是地震学领域的重点研究课题,提出并设计了一种地震观测无人值守台站信息智能化观测系统,从冗余设计和人机交互设计两部分对观测系统关键技术进行分析。在此基础上,分析了观测系统应具备的功能,并重点对系统软件进行了分析,实现了系统设计,并将该系统成功应用在了无人值守地震观测台站,取得了比较理想的结果。系统性能测试结果显示,地震观测台站运行状态观测结果与实际结果一致,本文所设计的观测系统具有较高的信息传输连续率,抗干扰性强,且系统运行能耗较低,平均预警耗时在 0.015~0.020 s 之间,派单时间最高没有超过 50 s,可以在 1 000~2 000 s 时间范围内通过远程操作完成台站故障抢修,表明该系统能够实现台站多种故障的准确观测和预警,具有一定的稳定性和可靠性,为后续实现地震环境检测和地震数据分析提供了强有力的保障。

鉴于论文篇幅所限,有关详细的技术环节在文中没有做更多详述,如有兴趣的读者可与作者联系。另外作者系计算机相关专业人员,对地震行业太深的技术深入程度不够,水平很有限,文中论述错误难免,望读者给予批评指正,在此表示感谢。

参考文献(References)

[1] 唐小亮,全海燕.基于遗传算法的重力固体潮信号独立元分析与地震前兆信息提取[J].地球物理学进展,2017,32(1):71-77.
TANG Xiaoliang, QUAN Haiyan. Independent Component Analysis of Gravity Earth Tide and Extraction of Seismic Precursory Signals Based on Genetic Algorithm[J]. Progress in Geophysics, 2017, 32(1): 71-77.

[2] 全建军,方传极,刘水莲,等.基于 STC₈₉C52 单片机的地震台站远程监控系统[J].地震工程学报,2016,38(3):485-490.
QUAN Jianjun, FANG Chuanji, LIU Shuilian, et al. Remote Monitor and Control System for Seismic Stations Based on STC₈₉C52 Single Chip Microcomputer[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2016, 38(3): 485-490.

[3] 王亚文,蒋长胜, Wang Yawen, 等.南北地震带地震台网监测能力评估的不同方法比较研究[J].地震学报,2017,39(3):315-329.
WANG Yawen, JIANG Changsheng, WANG Yawen, et al.

Comparison among Different Methods for Assessing Monitoring Capability of Seismic Station in North-South Seismic Belt [J]. Acta Seismologica Sinica, 2017, 39(3): 315-329.

[4] 周宝峰,樊圆,温瑞智,等.建筑结构地震反应观测台阵的发展现状及展望[J].地震工程与工程振动,2017,37(3):57-66.
ZHOU Baofeng, FAN Yuan, WEN Ruizhi, et al. Development Status and Prospect for Building Structures Seismic Response Observation Array[J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2017, 37(3): 57-66.

[5] 刘小钢,黎志波, Liu Xiaogang, 等.闪电定位仪远程维修测试系统设计及实现[J].气象科技,2016,44(4):567-570.
LIU Xiaogang, LI Zhibo, LIU Xiaogang, et al. Design and Implementation of a Remote Maintenance and Test System for Lightning Location Finders [J]. Meteorological Science and Technology, 2016, 44(4): 567-570.

[6] 崔泽岩,张肖,王慧,等.河北省流动地磁观测异常特征分析[J].地震工程学报,2018,40(2):329-334,343.
CUI Zeyan, ZHANG Xiao, WANG Hui, et al. Anomaly Characteristics of Mobile Geomagnetic Observation in Hebei Province [J]. Northwestern Seismological Journal, 2018, 40(2): 329-334, 343.

[7] 王挺,陈修吾,叶佳宁,等.基于自动地震速报的地震应急基础信息快速提取模块的研究与实现[J].华南地震,2016,36(1):16-23.
WANG Ting, CHEN Xiuyu, YE Jianing, et al. Research and Realization of Rapid Extraction Module for Earthquake Emergency Basic Information Based on Automatic Earthquake Quick Report[J]. South China Journal of Seismology, 2016, 36(1): 16-23.

[8] 刘高川,李正媛,王建国,等.地震前兆台网数据跟踪分析平台设计[J].大地测量与地球动力学,2016,36(9):841-846.
LIU Gaochuan, LI Zhengyuan, WANG Jianguo, et al. The Design of the Tracking and Analysis Platform for Earthquake Precursor Observation Data[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2016, 36(9): 841-846.

[9] 张磊,闫俊岗,吴鹏,等.临时地震台站故障的快速判别[J].地震工程学报,2016,38(增刊1):180-182.
ZHANG Lei, YAN Jungang, WU Peng, et al. Rapid Identification of Temporary Seismic Station Failure [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2016, 38(Suppl1): 180-182.

[10] 苏柱金,黄文辉,刘军,等.空间地理信息在 JOPENS 系统中的应用及优化[J].华南地震,2016,36(3):81-87.
SU Zhujin, HUANG Wenhui, LIU Jun, et al. The Application and Optimization of Spatial Geographic Information Technology in JOPENS[J]. South China Journal of Seismology, 2016, 36(3): 81-87.

[11] 黄仁桂,肖健,李雨泽,等.地震氦观测仪检测平台的设计初探[J].地震工程学报,2018,40(增刊1):163-169.
HUANG Rengui, XIAO Jian, LI Yuze, et al. A Preliminary Study of the Design of Emanometer Measurement Platform in Earthquake Monitoring [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2018, 40(Suppl1): 163-169.