

陈新房,刘庆杰,王金峰.基于云计算的地震预警网络系统的设计与实现[J].地震工程学报,2018,40(3):574-581.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.03.574

CHEN Xinfang, LIU Qingjie, WANG Jinfeng. Design and Implementation of an Earthquake Early Warning Network System Based on Cloud Computing[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2018, 40(3): 574-581. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2018.03.574

基于云计算的地震预警网络系统的设计与实现

陈新房, 刘庆杰, 王金峰

(防灾科技学院灾害信息工程系, 河北 三河 065201)

摘要: 传统基于数据融合的地震预警网络系统在对地震进行预警时,需要分析大量的地震数据,存在地震预警偏差高和动态监测性能差的弊端,因此本论述设计了基于云计算的地震预警网络系统,采用 SaaS 技术设计系统总体架构,通过核心是 STM32F103RET6 单片机的地震监测传感器模块,采集地震波信息。系统采用多地区地震数据并发过滤接收技术,对海量数据进行及时有效的接收和处理。系统实现过程中设计了系统的软件架构,基于 Web 页面的地震震波仿真显示模型,用浏览器中的 High Chart JS 软件模拟显示地震波形,给出了系统软件进行地震事件触发检测管理线程序流程以及系统台站误触发判断实现流程。实验结果说明,所设计系统能够准确的对地震发生作出预警,动态监测性能强。

关键词: 云计算; 地震; 预警网络; 系统; 设计; 传感器

中图分类号: TP393; TP315.75

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2018)03-0574-08

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2018.03.574

Design and Implementation of an Earthquake Early Warning Network System Based on Cloud Computing

CHEN Xinfang, LIU Qingjie, WANG Jinfeng

(Department of Disaster Information Engineering, Institute of Disaster Prevention, Sanhe 065201, Hebei, China)

Abstract: The traditional seismic early warning network system based on data fusion has to analyze a large amount of seismic data for providing early warning. This system has the disadvantages of high seismic warning deviation and poor dynamic monitoring performance. Therefore, an earthquake early warning network system based on cloud computing is designed. The “Software as a Service” (SaaS) technology is used to design the system, and the seismic wave information is collected by a seismic monitoring sensor module with STM32F103RET6 MCU core. The system adopts concurrent filtering and receiving technology for multiregional seismic data to receive and process massive data in time and effectively. For system implementation, the software architecture of the system is designed as follows: based on the seismic wave simulation display model of

收稿日期: 2017-08-20

基金项目: 廊坊市科学技术研究自筹经费项目(2016011058);河北省科技计划项目(132776311)

作者简介: 陈新房(1975-),男,山东汶上人,硕士,副教授,研究方向为大数据、计算机网络、人工智能、算法分析、地震信息处理。

E-mail: chenxinfang1010@163.com。

a Web page, Highcharts JS software in the browser is used to simulate the seismic waveform. The experimental results show that the designed system can accurately provide early warning of an earthquake and has strong dynamic monitoring performance.

Key words: cloud computing; earthquake; early warning network; system; design; sensor

0 引言

云计算是当今时代研究的热点,是各种信息技术与互联网技术互相融合发展到一定阶段的产物,云计算已进入我们生活中的各个领域,其不仅蕴藏了大量的数据信息而且能够对数据的分析研究做出巨大贡献^[1]。在地质灾害预警方面,将云计算技术应用于其中能够提高不同地震数据的高效收集和處理,可以对地震发生进行预警,提高对地震的有效监测性。传统数据融合的地震预警网络系统在对地震发生进行预警时,由于数据规模较大,处理方式不当存在大量的误报问题,本论述基于云计算设计地震预警网络系统,从而准确的对地震进行预警。

1 基于云计算的地震预警网络系统的设计

1.1 系统总体结构

文章运用 SaaS 技术对地震典型案例进行考察分析,设计的基于云计算的地震预警网络系统总体结构见图 1 所示。

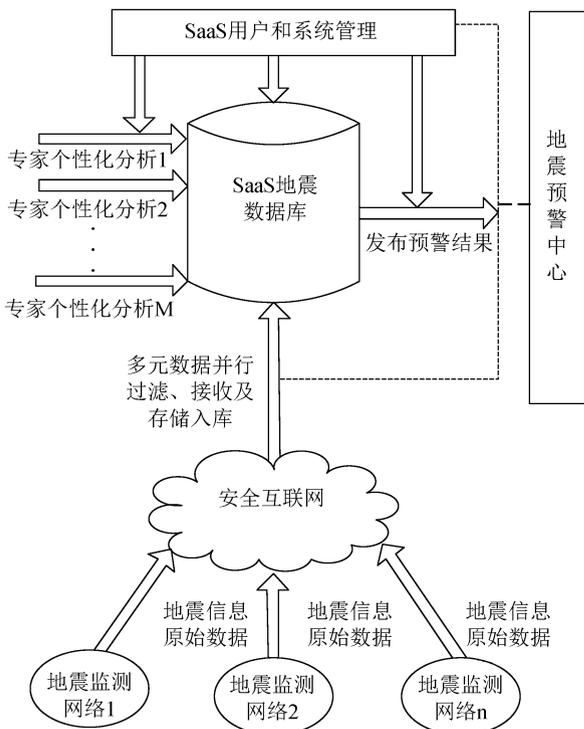


图 1 系统总体框架

Fig.1 General framework of the system

图 1 中,不同地区的基础网络监测通过有线和无线传感器群,把绝对安全环境下获取的最初地震数据传达到预警管理中心,这些数据信息经过筛选和分析存储在 SaaS 数据库内,之后地震方面的专家根据 SaaS 软件给出的地震预判与数据分析^[2],给出有效的预警方向。

1.2 地震监测传感器模块设计

云计算技术能够对地震的发生作出有效预测,在 SaaS 地震远程监测体制中具有重要的研究地位。

根据地震的传播方向将地震波划分成纵波、横波。纵波即 P 波,对地表的摧毁力度小,它的传播速度是 5.5~7 km/s,由地震中心出发,地表上下方向震动;横波即 S 波,其摧毁力度极大,虽然传播速度只有 3.2~4 km/s,但它让地表产生前后左右的摇晃^[3],全方位毁坏地面。通过摧毁力度大的 S 波比摧毁力度小的 P 波的传播速度慢的这一特质,使得传感器得以运作。地震开始初期,速度较快的 P 波第一个接触到地震监测系统,系统为其设置了一个振幅上限^[4],一旦超过这个数值,就会自动做出反应立即分析 P 波在三个方向上的加速度,在 S 波到来之前的这段时间里,计算出此次地震的震级、震源等重要抗震数据,给相关人员发出警示信息,提示他们实施有效措施。

系统通过建立地震监测传感器硬件体制的方式来达到上述监测地震的目的,该体制的主体是 STM32F103RET6 单片机,其他部分由 STM32F103RET6 的外围附件组成,如图 2 所示,众多模块共同构成了传感器。三轴加速度传感器的主要功能是接收地震,通过电压方式把地表振动释放^[5],它的频率响应是 1.8 kHz,量程是带使用的 ±2g/±6g 量程,符合包括非人为地震信号的频次领域(0~100 Hz),3 通道加速度释放和最少 ±2g 加速度的地震监控条件,信号调理方面的 OPA4350、用于 A/D 转换的 ADS8331 都属于信号调理和 A/D 转换模块范畴,他们主要功能是把传感器释放的加速度转换成数据形式,实现传感器的微控制处理,A/D 具备 16 位分辨率,运用 4.096 V 电压,其可以接受的总电压是:

$$\frac{(4.096 \times 1\ 000)}{2^{16}} = 0.062\ 5\ \text{MV} \quad (1)$$

系统中的地震监测传感器应符合加速度传感器感应 1 gal(其可以释放的电压是 0.66 MV)的处理条件;地震监测机制的地理位置确定以及时间的设置由GPS的功能来实现;人类与机器的沟通交流则由OLED显示功能完成;无线收发模块可以

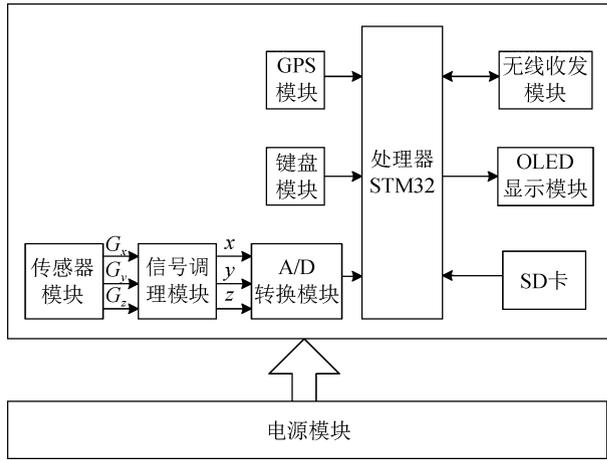


图2 地震监测传感器模块结构图

Fig.2 Structure map of the seismic monitoring sensor module

在无线的情况下与主机以及其他模块沟通交流;键盘模块能够任意改变屏幕显示信息,掌握无线传递信息;SD卡可以把监测过程中获得的加速度信息安全有效的保存^[6],为将来的研究提供理论依据;在众多模块中处于决定性位置的是微控制模块,通过合理使用监测体制的各种模块保存获得的信息数据,确保有效的算法与数据协调合作,及时精准地给出地震等级、震源长度、方位角等相关信息。

1.3 多数据并发过滤接受技术

设计一个可以容纳众多地区震况信息且高效、安全的数据接收软件至关重要,因为只有通过快速接收正确、精准的数据,研究人员才能进行分析,实施预判,从而达到预警的目的。要想达到大量数据及时有效的接收并处理,最终把精准的数据录入地震预警系统的目的,关键是完善全方位数据处理和同时接收功能,多地区地震数据并发过滤接收技术框架如图3所示。

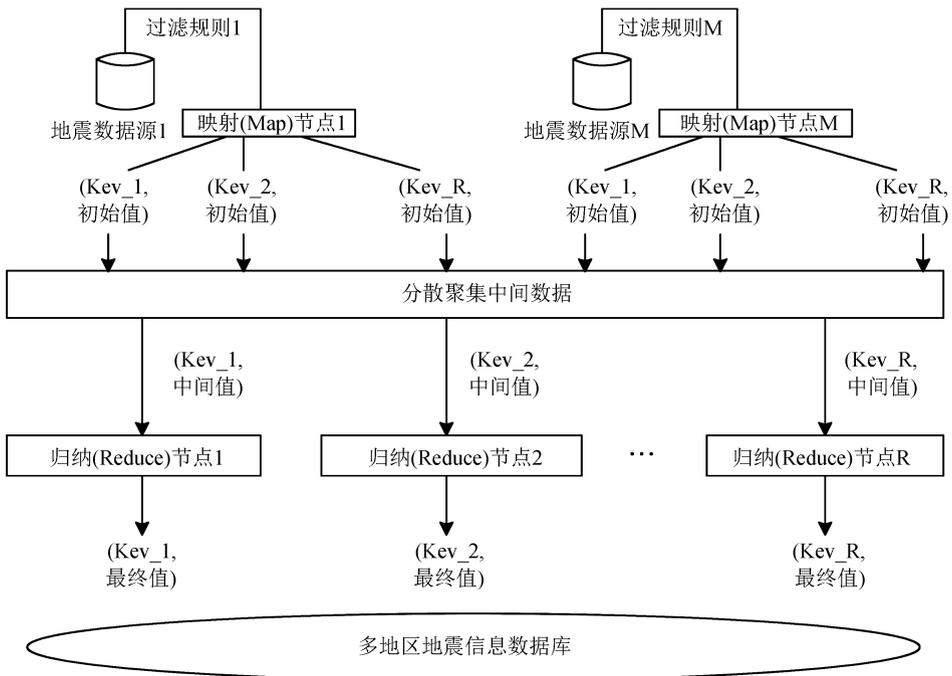


图3 多地区地震数据并发过滤接收技术框架图

Fig.3 Framework of concurrent filtering and receiving technology for multiregional seismic data

SaaS地震远程监测体制运行步骤如下:首先纷繁复杂的地震信息经过Map模块的处理被归类成几大种类。然后Map模块把它们切割为M块输入到M台机器内。最后,按照每种数据的不同要求将其归纳处理^[7],得到有价值的信息。Reduce模块的运行方式与上述类似,采用分类聚集

处理算法对Map模块的数据进行分析,通过将其切割为R块的方式,把这些信息输入到R台Reduce机器中^[8]。经过Reduce模块以及Map模块的运行处理得到R个文件信息,最后使用信息处理工具将数据安放在各个地区的地震信息数据库内。

1.4 基于云计算的地震预警网络系统软件设计

1.4.1 系统软件构架

数据汇集服务、自动定位、参数管理等一系列模块共同构成地震预警的分析处理系统。用户层、应用层、数据层构成了该系统的整体框架。通过 Java 软件平台使用云计算技术进行各种所需模块的编程,确保机器的高端智能化,削弱人员操控力量,实现整体运转高效、精准、迅速的目的。

地震预警网络系统的软件架构如图 4 所示。得到各种机器以及非在线的文件信息数据,这是数据层的主要功能,然后经过 TCP SOCKET 的处理之

后待操作。数据服务模块经过 TCP SOCKET 的处理可以分解出台网根源数据。应用层在系统业务方面发挥着不可替代的作用^[9],事件触发判断、事件定位、震级估算等构成了系统业务模块。通过发挥排列式计算以及多线程技术的功能,来确保动态震相数据是其连接点,达到省时、高效、合理利用周围环境的目的。参数管理模块与预警信息发布模块构成了用户层的主体,参数管理的主体对象是主页用户,预警信息发布则是针对大众设立的。Web Service 在预警信息发布模块与其他模块开展信息沟通交流方面起到了连接作用。

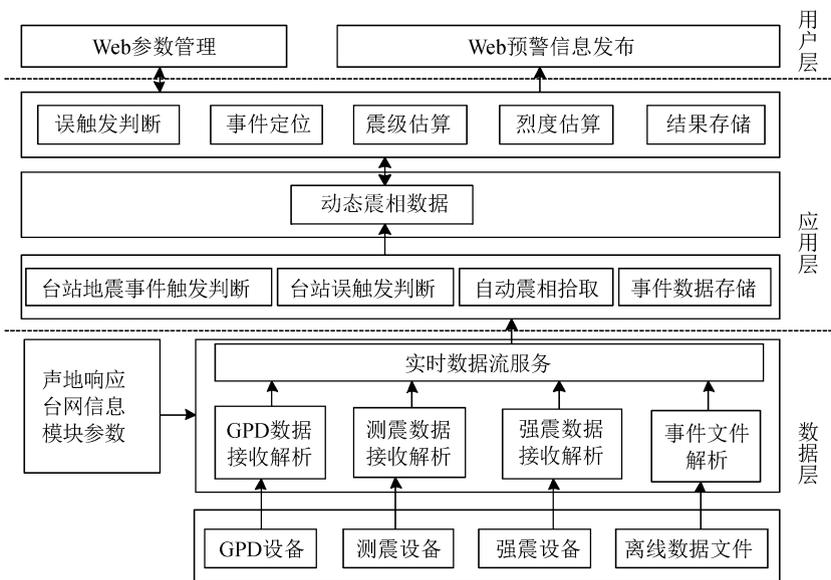


图 4 地震预警网络系统软件总体框架

Fig.4 General framework of software for earthquake early warning network system

1.4.2 分布式云计算网络

物理机网络拓扑中云网络选取五台功能强大的服务器,可以与两台千兆交换机实现连接互通。五台服务器的作用分别是一台作为节点控制^[10],另外四台则负责节点计算与储存。两台交换机的功能分别是一台负责行业网络数据互通,建立外部通讯,另外一台则实施单独云网络内部数据连接,负责内部监控。

OpenStack 作为开源云计算处理项目,依靠着若干重要配件的协同运作来实现功能操作^[11], OpenStack 的主要运行由 Ubuntu Linux 系统负责,该软件选取 65 位数据 Ubuntu Server 组合,配备 Open Stack,创建了相对独立的云环境。

1.4.3 地震波形的实时显示实现

在 Web 页面的地震震波仿真显示模型的基础上,通过浏览器中的 High Chart JS 软件,将地震波

形做出模拟显示,由 Servlet 利用波形服务器取得的实时波形信息可由后台客户端进行传递,通过 Ajax 功能在前台显示出具体波形数据信息。关于波形展示时间、途径、坐标放大等效果都由波形显示界面进行控制^[12]。波形展现时间限度有 3 类,分别是 30 s、60 s、120 s,菜单选择中可对其进行调控。假设波形展现时长为 120 s,则数据包存贮增多,对工作站负担加大。途径调控菜单能分别对垂直,南北、东西等 3 个途径进行单独调控,没有选择的途径在图形中没有展示。基于 Web 的波形实时展现结构图如图 5 所示。

1.4.4 地震事件触发检验实现

波形数据内获取信息的重要途径之一就是震相分析,地震预警体系的重点内容是应在最短时间内得到准确的地震数据,以上两点直接影响到预警时间。地震突发情况预测模块的作用是在实时数据流

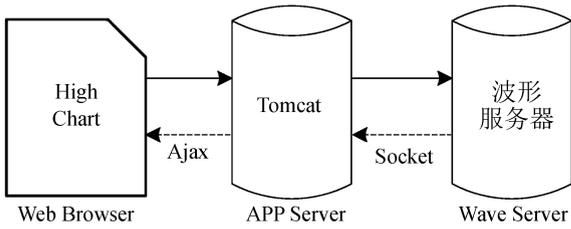


图5 基于 Web 的波形实时显示框架

Fig.5 Waveform real-time display framework based on Web

内通过计算获得地震台站数据,例如运动周期,幅度大小,以及 P 波和 S 波的开始时间等。时间内获取的时效性直接影响整体预警性能^[13]。为了缩短地震数据的计算时间,本模块选取了 Java 多线程以及扩散式计算手段。相关的震相数据由模块的整体动态数据组负责存放,此模块同时可做多种模块信息互通的交界口,降低了与其余模块的相似性,使系统的机动性也有所提高。地震事件触发检验模块由管理线程以及判断计算线程两部分组成。初始化关联数据、轮询台站信息以及设计运作计算线程等工作由管理线程承担^[14];对波形信息实施扩散式计算研究,以及最后震相结果的返回汇报都由判断计算线程负责。系统软件进行地震事件触发检测管理线程流程如图 6 所示。

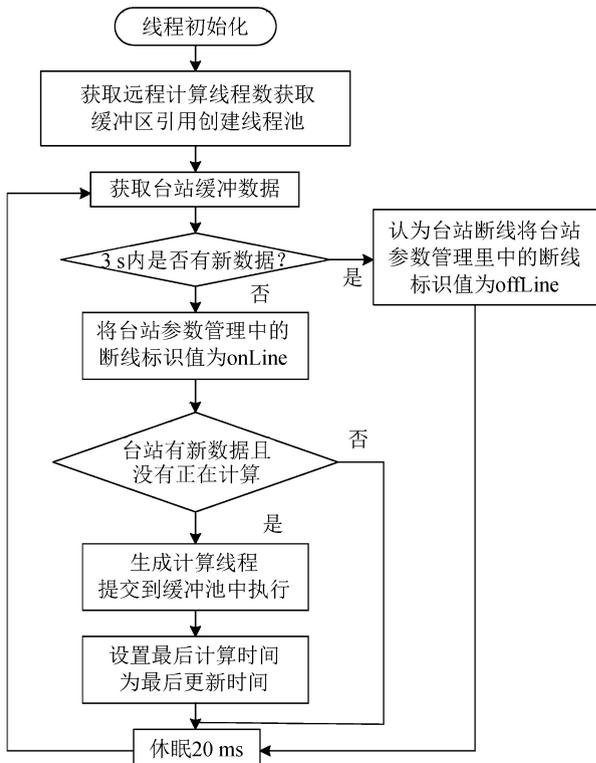


图6 地震事件触发检测管理线程流程图

Fig.6 Detection management flow chart of event trigger

1.4.5 误触发判断实现

系统误触发判断有两种解决方法,一是在 V 图与走时的基础上,判断其中的问题台站;二是通过台站以及台站范围远近、波速、周边台站突发问题等辨别是否存在误触发情况。

针对 1 组触发台站,按照 Delaunay 三角网状态辐射,针对邻近台站实施分组^[15],在各组台站内,按照两两走时差辨别该系统是否符合走时定律,以作为系统误触发检验标准。具体环节如图 7 所示。针对非线性触发的 1 组台站,可按照台站距离以及 P 波波速统计出其传递时间,在传递时间和系统触发后的时间差大于预判时间的情况下,可判定为误触发,判定流程如图 8 所示。

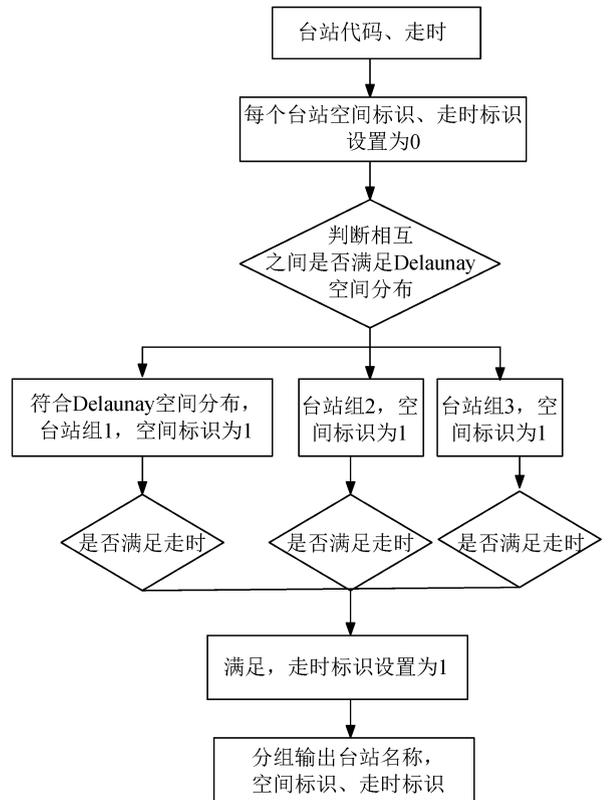


图7 系统台站误触发流程

Fig.7 False trigger flow of system stations

2 实验分析

实验为验证本论述基于云计算的地震预警网络系统的有效性,模拟地震发生环境并采用本论述系统进行地震预警分析,系统测量得到的地震级别和震源距适中,速度和位移等矢量数据的来源均为加速度积分运算结果,实验采用对位移数据的误差实施测量的方法,对由经验公式得到的地震级别以及震源用时结果实施估量。实验利用传感器对位移进

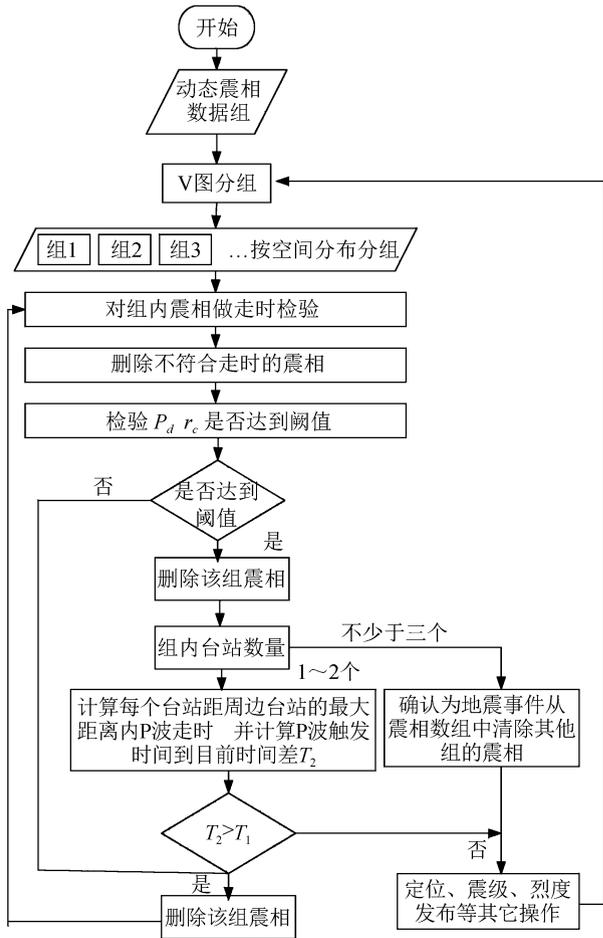


图 8 系统台站误触发判断流程

Fig.8 Judgment process of false trigger of system stations

行动态监测,对实验模拟出的地震波进行垂直方向的快速移动,测量系统运行 3 s 内的最大位移。图 9 为本论述系统的测量结果和经验公式的监测结果。

从图中可以看出在不同的测试编号下,系统测量得到的位移结果与经验公式计算得到的结果相接近、误差较小,说明系统可以用于实际的地震预警中。

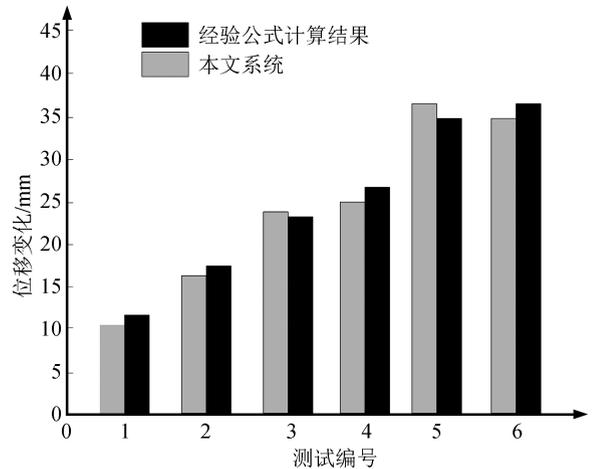


图 9 本论述系统的测量结果和经验公式的监测结果
Fig.9 Measured result of the system and monitored result of the empirical formula

地震级别和震源距的计算结果由不同的统计关系得到,该数据存在一定程度的误差,因此将本系统具体的应用到某一个地区的地震预警中时,需要结合当地以往的地震记录对本系统进行调整和优化,提高本系统的地震预警能力。

实验为本系统在对方位角测量结果进行分析时,保持传感器监测的方向与实际地理方向的一致,使传感器从不同方向进行监测,借此模拟地震波传播方向到本系统地震监测点同时触发传感器的监测功能,计算得到方位角,实验测试结果如表 1 所列。

表 1 方位角测试结果

Table 1 Test results of azimuth

实际的方位角/(°)	0/360	45	90	135	180	225	270	315
本文系统计算结果/(°)	346	33	104	129	191	232	280	308
误差值/(°)	-14	-12	14	-6	10	7	10	-7

从表 1 实验测得本系统的方位角计算结果可以看出,系统测得的结果与实际地震发生方位角相差较小,说明本系统在计算方位角中可以得到较精确的计算结果,准确的预测出地震发生的具体方位。

过去对地震预警的方法在测量中存在一定程度的错误率,因此实验为验证本系统是否对地震预警产生影响,在地震仿真平台上故意制造一些干扰震动,用于模拟地震发生时地壳本身存在的一些震动,如山体滑坡或矿物开采等,对本系统的传感器是否触发预警进行观测,实验结果如表 2 所列。

表 2 地震时间错误触发结果

Table 2 False trigger results of earthquake time

实验测试次数/次	5	10	15	20	25
错误触发次数/次	0	0	1	2	2
错误触发率/%	0	0	6.7	10	8

实验中短长时间窗长在一定程度上造成传感器的错误触发,其中数据震动的浮动越明显说明短时间的窗长就越短,本系统的整体抗干扰效果就越差;若长时间窗长越长,表明本系统对微弱的震动幅度的感知能力越强,对干扰的地震波动反应越差。

实验为验证本系统对地震发生瞬时动态位移的监测能力,用系统对2011年日本某地区的地震瞬时动态位移进行监测,并将监测结果与地震局监测的准确结果进行对比分析,两种监测结果均采用SHAO为参考站,且选择的星历均为同一时刻下的超快速星历,模型监测站状态和实际监测站的状态也保持一致。图10为本文模型与地震监测站计算

的MIZU在南北和东西方向动态时序对比结果。

从图10结果中可以看出,本文系统对地震发生时监测到的动态时序结果无论在南北方向还是东西方向均与地震局监测到的结果大致吻合,拟合度较高,在细节部分可以准确的判断出某一时刻的具体瞬时位移,说明本文系统可以对地震作出预警,地震的动态监测效果明显。

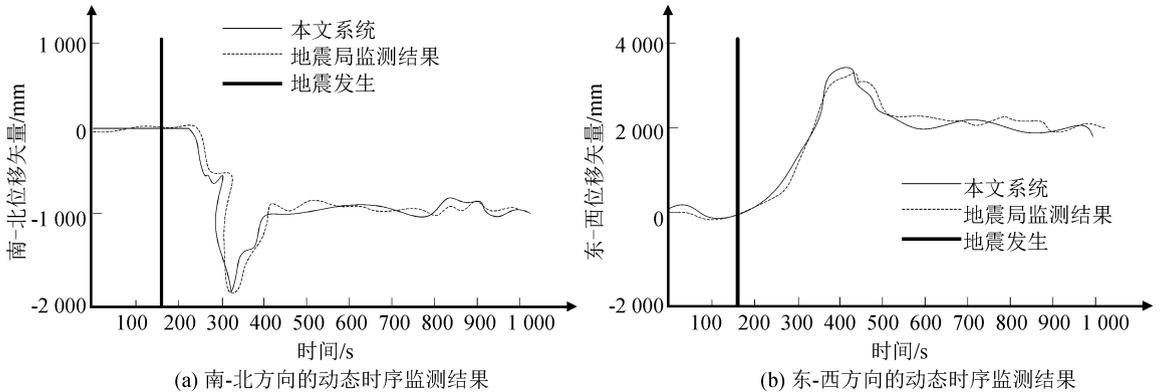


图10 动态时序监测结果

Fig.10 Dynamic time-series monitoring results

3 结论

本论述设计的基于云计算的地震预警网络系统,可以对地震发生作出准确的预警,并且对地震发生的瞬时动态位移监测能力较强,具有较高的应用价值。

参考文献(References)

- [1] 郭凯,温瑞智,杨大克,等.地震预警系统的效能评估和社会效益分析[J].地震学报,2016,38(1):146-154.
GUO Kai, WEN Ruizhi, YANG Dake, et al. Effectiveness Evaluation and Social Benefits Analyses on Earthquake Early Warning System[J]. Acta Seismologica Sinica, 2016, 38(1): 146-154.
- [2] PENG C, CHEN Y, CHEN Q, et al. A New Type of Tri-axial Accelerometers with High Dynamic Range MemS for Earthquake Early Warning [J]. Computers & Geosciences, 2017 (100): 179-187.
- [3] 张晋辉,龙海云.国际地震预警研究现状与研究热点的可视化分析[J].中国地震,2017,33(1):172-179.
ZHANG Jinhui, LONG Haiyun. Visualized Analysis of the Research Status and Hotspots of International Earthquake Early Warning[J]. Earthquake Research in China, 2017, 33(1): 172-179.
- [4] 李佳威,吴忠良.地震预警系统的“盲区”控制问题——以首都圈地震预警原型系统为例[J].中国地震,2016,32(4):584-594.
LI Jiawei, WU Zhongliang. Controlling the 'Blind Zone' of an Earthquake Early Warning System (EWS): A Case Study of the Beijing Capital Circle Prototype EWS[J]. Earthquake Research in China, 2016, 32(4): 584-594.

- [5] CROWELL B W, SCHMIDT D A, BODIN P, et al. Demonstration of the Cascadia G-FAST Geodetic Earthquake Early Warning System for the Nisqually, Washington, Earthquake [J]. Seismological Research Letters, 2016, 87(4): 930-943.
- [6] 付继华,王旭,郭云开,等.基于非对称传感器的地震预警与烈度速报综合用烈度仪[J].大地测量与地球动力学,2017,37(12):1308-1312.
FU Jihua, WANG Xu, GUO Yunkai, et al. Asymmetric Sensor Based on Seismic Intensity Instrument for Earthquake Early Warning and Seismic Intensity Rapid Reporting [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2017, 37(12): 1308-1312.
- [7] 王斌锋,苏金树,陈琳.云计算数据中心网络设计综述[J].计算机研究与发展,2016,53(9):2085-2106.
WANG Bin Feng, SU Jinshu, CHEN Lin. Review of the Design of Data Center Network for Cloud Computing [J]. Journal of Computer Research and Development, 2016, 53(9): 2085-2106.
- [8] 罗莹,叶通,金耀辉.云计算数据中心网络研究综述[J].电信科学,2014,30(2):99-104.
LUO Xuan, YE Tong, JIN Yaohui. Survey on Data Center Network for Cloud Computing [J]. Telecommunications Science, 2014, 30(2): 99-104.
- [9] 张千,梁鸿,邢永山.云计算环境下基于模糊聚类的并行调度策略研究[J].计算机科学,2014,41(8):75-80.
ZHANG Qian, LIANG Hong, XING Yongshan. Cloud Parallel Task Scheduling Algorithm Based on Fuzzy Clustering [J]. Computer Science, 2014, 41(8): 75-80.
- [10] 凌飞,肖宏跃,朱夏乐,等.基于黏弹性介质的隧道地震二维正演模拟[J].长江科学院院报,2015,32(5):121-126.
LING Fei, XIAO Hongyue, ZHU Xiaole, et al. Two-dimensional

- Forward Seismic Modeling for Tunnel Based on Viscoelastic Medium[J].Journal of Yangtze River Scientific Research Institute,2015,32(5):121-126.
- [11] EMOLO A,PICOZZI M,FESTA G,et al.Earthquake Early Warning Feasibility in the Campania Region (Southern Italy) and Demonstration System for Public School Buildings[J].Bulletin of Earthquake Engineering,2016,14(9):2513-2529.
- [12] 赵继伟,魏群,张国新.水利工程信息模型的构建及其应用[J].水利水电技术,2016,47(4):29-33.
ZHAO Jiwei,WEI Qun,ZHANG Guoxin.Construction and Application of Water Resources Project Information Model[J].Water Resources and Hydropower Engineering,2016,47(4):29-33.
- [13] 武炜,柴福鑫,胡宇丰,等.基于大数据的省级山洪预警平台开发[J].水利水电技术,2016,47(9):126-129.
- WU Wei,CHAI Fuxin,HU Yufeng,et al.Big Data-based Development of Provincial Mountain Torrent Early-warning Platform[J].Water Resources and Hydropower Engineering,2016,47(9):126-129.
- [14] 李鸿杰,曾鹏毅,黄道兴,等.一种基于位移源谱的地震预警快速震级估算方法及影响因素研究[J].世界地震工程,2017,33(4):187-195.
LI Hongjie,ZENG Pengyi,HUANG Daoxing,et al.Evaluation for Influence Factors of a Rapidly Estimating Earthquake Magnitude Algorithm for EEW: Displacement Source Spectrum Method[J].World Earthquake Engineering,2017,33(4):187-195.
- [15] KANGA N,BAROLLI L,PARK J H,et al.A Strengthening Plan for Enterprise Information Security Based on Cloud Computing[J].Cluster Computing,2014,17(3):703-710.

(上接第 503 页)

- WANG Lijuan.Research on Ground Motions Record Input of Structure Time-history Analysis[D].Urumqi:Xinjiang University,2013.
- [7] 张海龙,展猛,王社良.层间滑移隔震结构地震作用有限元分析[J].地震工程学报,2016,38(4):558-563.
ZHANG Hailong,ZHAN Meng,WANG Sheliang.Finite Element Analysis of the Seismic Response of an Interlayer Sliding Isolation Structure[J].China Earthquake Engineering Journal,2016,38(4):558-563.
- [8] 程卫山.地震动输入的优选与常规岛主厂房基础隔震设计[D].北京:北京工业大学,2012.
CHENG Weishang.Optimization of Input Ground Motions and Base-Isolation Design of Main Plant of a Conventional Island [D].Beijing:Beijing University of Technology,2012.
- [9] 付李宁.框架结构的基础隔震研究[D].武汉:武汉理工大学,2008.
FU Lining.Study of Base Isolation of Frame Construction[D].Wuhan:Wuhan University of Technology,2008.
- [10] 李小军.基础隔震结构的地震反应分析[D].西安:西安建筑科技大学,2009.
- LI Xiaojun.Analysis on Seismic Response of the Structure With Base-isolation System [D].Xi'an:Xi'an University of Construction and Technology,2009.
- [11] 郭永恒.基础隔震结构基于性能的设计方法研究[D].广州:广州大学,2007.
GUO Yongheng.Studies on Performance-based Seismic Design Method for Base-isolated Structure [D].Guangzhou:Guangzhou University,2007.
- [12] 缪驰,周颖,石维.9 度区商场建筑隔震与非隔震结构方案选择及经济性分析[J].结构工程师,2013,29(1):62-68.
MIU Chi,ZHOU Ying,SHI Wei.Structural Selection and Economic Analysis of Isolated and Non-isolated Shopping Mall Located at Seismic Intensity 9[J].Structural Engineers,2013,29(1):62-68.
- [13] 文波,张俊发,韩永兴,等.变电站配电楼的隔震设计[J].建筑结构,2005,35(11):25-28.
WEN Bo,ZHANG Junfa,HAN Yongxing,et al.Research and Design of Base-isolated Structure of Switch Building in Substation[J].Building Structure,2005,35(11):25-28.