



马文娟, 刘坚, 蔡寅, 等. 2018. 大数据时代基于物联网和云计算的地震信息化研究. 地球物理学进展, 33(2): 0835-0841, doi: 10.6038/pg2018BB0340.

MA Wen-juan, LIU Jian, CAI Yin, et al. 2018. Research on seismic information based on internet of things and cloud computing in big data era. Progress in Geophysics (in Chinese), 33(2): 0835-0841, doi: 10.6038/pg2018BB0340.

## 大数据时代基于物联网和云计算的地震信息化研究

## Research on seismic information based on internet of things and cloud computing in big data era

马文娟<sup>1</sup>, 刘坚<sup>2</sup>, 蔡寅<sup>3</sup>, 陈会忠<sup>4</sup>, 刘现峰<sup>5</sup>

MA Wen-juan<sup>1</sup>, LIU Jian<sup>2</sup>, CAI Yin<sup>3</sup>, CHEN Hui-zhong<sup>4</sup>, LIU Xian-feng<sup>5</sup>

1. 宁夏回族自治区地震局, 银川 750001

2. 中国地震局地震研究所, 武汉 430071

3. 山东省地震局, 济南 250102

4. 中国地震局地震预测研究所, 北京 100036

5. 中国电信股份有限公司宁夏分公司, 银川 750001

1. Earthquake Administration of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750001, China

2. Key Laboratory of Earthquake Geodesy, Institute of Seismology, CEA, Wuhan 430071, China

3. Earthquake Administration of Shandong Province, Jinan 250102, China

4. Institute of Earthquake science, CEA, Beijing 100036, China

5. China Telecom Corporation Limited Ningxia Branch, Yinchuan 750001, China

**摘要** 近年来, 大数据以其蕴含的丰富价值, 得到了学术界和企业界的广泛关注. 对大数据进行管理利用并构建大数据服务, 是挖掘大数据价值的关键途径. 本文从地震信息化工作即将进入大数据时代角度出发, 以大数据(Big Data)、物联网(Internet of Things)、云计算(Cloud Computing)等前沿技术在地震监测及预警领域信息化工作的应用作为研究对象, 深入研究了各种技术对推动地震信息化产生的影响及应用方案, 提出了包括地震物联网、地震云计算平台、一体化显示等内容, 探讨了相关的技术路线、框架体系、应用模式等. 针对当前地震数字化观测存在的监测数据传输和震后应急调度支撑不足的问题, 研究将新型传感物联网技术应用在地震监测区域, 结合云计算技术提高地震大数据的实时处理与应急调度能力, 设计了一套基于物联网与云计算架构为核心的地震大数据应急调度平台的解决方案. 详细介绍了平台的功能架构及技术实现. 系统搭建于宁夏电子政务公共云平台上, 该体系架构节约了传统海量大数据处理所需的昂贵基础设施投入和维护成本; 另一方面, 基于云计算的大数据存储、管理与分析等技术, 为快速构建大数据服务提供了技术支撑. 实验结果表明, 平台在数据传输及应急调度方面效率很高, 平台体系架构得到初步应用, 以期地震应急提供决策依据.

**关键词** 云计算; 物联网; 大数据; 地震应急调度

中图分类号 P315, P631

文献标识码 A

doi: 10.6038/pg2018BB0340

**Abstract** In recent years, large numbers of its rich value have attracted wide attention from both academic and business circles. The management of large data, the use and construction of large data services, is a key way to tap the value of big data. This article from the earthquake information angle is about to enter the era of big data, with big data (Big Data), networking (Internet of Things), cloud computing (Cloud Computing) and other cutting-edge technology in the application of informatization work of earthquake monitoring and early warning area as the research object, in-depth study of various techniques for promoting earthquake information the proposed scheme and application, including seismic networking, earthquake cloud computing platform, integrated display and other content, discusses the technical route and key technology, system framework, application mode. In view of the lack of support for monitoring data transmission and earthquake emergency dispatching in digital observation of earthquake at present. The new sensor networking technology used in the seismic monitoring area and calculation technology to improve real-time processing ability and emergency dispatch earthquake data with cloud, research and put forward the solutions of earthquake emergency dispatching data platform based on a set of networking and cloud computing architecture as the core. The function design and technical realization of the platform are introduced in detail. The system is built on the Ningxia E-government public cloud platform, the traditional architecture saves the massive data processing required expensive infrastructure investment and maintenance costs; on the other hand, cloud computing, big data storage, management and analysis based on the technology for rapid construction of large data provides technical support services. The experimental results show that the platform in the data transmission efficiency and emergency scheduling is very high, the platform architecture is applied, in order to provide decision-making basis for earthquake emergency.

**Keywords** cloud computing; internet of things; big data; earthquake emergency scheduling

收稿日期 2017-08-04; 修回日期 2018-02-15.

投稿网址 <http://www.progeophysics.cn>

基金项目 宁夏自然科学基金项目(NZ15214)资助.

第一作者简介 马文娟, 女, 1975年生, 硕士, 高级工程师, 主要从事地震监测和物联网与大数据新技术应用研究. (E-mail: mawj539@163.com)

## 0 引言

地震是人类社会面临的自然灾害之一,地震频发给社会带来的灾难损失越来越大.作为新兴的物联网技术,如何在面对地震灾难时将其更多应用到灾难的预防与救援当中,充分发挥物联网优势,促进地震监测及应急救援的智能化,以减轻地震灾害损失(Mell and Grance, 2011; Lin and Ryaboy, 2013; 马文娟等, 2013; Guo *et al.*, 2014; Botta *et al.*, 2016; Chang *et al.*, 2016; 俊晓阳等, 2017; Santos *et al.*, 2017).拓展物联网技术在地震应急救援等领域的应用,利用大数据和云计算对大量、复杂、多源数据进行整合与挖掘,促使监测数据管理、震情研判、应急决策向智能化方向发展.本系统在结合地震监测网现状与发展动态的基础上,考虑到当前的防震减灾实际需要,以地震行业信息网为基础,以大数据、云计算、“互联网+”技术为依托,实施防震减灾信息智能化建设、地震大数据应用,为人民生命财产安全提供技术保障.

## 1 研究背景

### 1.1 地震监测现状

随着国家数字化监测台网的建设,新的观测方法和技术逐步应用,基本实现了地震监测的数字化、网络化和集成化,地震监测能力有了很大的提高.数字化技术的应用为地震科学研究提供了丰富的第一手资料,为地震预测预报打下了良好基础.但还存在预测预报理论支撑和管理支撑不足的问题.为进一步完善现代化抗震应急管理的软硬件设施,为政府决策和社会公众提供更加丰富及时的灾情信息,研究将提出一套以基于物联网与云计算架构为核心的地震大数据应急调度平台的解决方案.以大数据理念为引导,以物联网、云计算技术为基础,打破传统数据中心的建设思路,与新一代云数据中心接轨,兼顾当前实际应用和今后长远发展,构建宁夏新一代地震应急调度平台.平台与即将建设的国家地震烈度速报和预警工程实行无缝接轨,与已经运行的“数字地震观测网络”及“宁夏地震灾情速报及区市县联动应急指挥系统”等项目前期业务应用系统融合.同时平台通过移动互联网和物联网,和各行各业更广泛的互联,以获取更深入的社会感知,为地震应急响应实现人工智能处理地震应急事务,向智慧地震应急发展打下基础.平台将对地震局核心网络优化重构,实现多源空间数据的有效整合,提出基于云计算的大数据分析挖掘和可视化解决方案,满足地震数据的高速存储、检索以及超强数据分析.以大数据技术和智能技术提升宁夏地震系统数据管理能力和应急反应能力,实现管理、科研共享一体化,促进数据资源的科学利用,为地震应急及公众提供更快更优质精准的服务.

### 1.2 研究目标

在地震监测网现状与发展动态的基础上,考虑到正在实施的地震烈度与预警工程,根据当前的防震减灾实际需要,建立分布式“地震云”体系,通过物联网技术打造行业内传感器网络和社会物联网的融合系统,使各种传感器成为“地震云”的智能终端,扩大地震行业的互联网感知能力,开展大数据的整体综合研究(陈会忠, 2016),推动智能处理,实现智能化的基于大数据、物联网的地震应急调度平台.总体设计

的原则是:

(1) 突破传统,采用新的方法与思路构建宁夏地震大数据应急调度平台.从经济角度考虑,大量的硬件购置,一方面存在软硬件的更新升级的问题,另一方面存在很多繁琐的人力物力的维护、备份等工作.以云计算和云存储为基础,将会减少大量维护精力,同时提高数据的计算和查询效率,实现对突发公共事件的早期预警、趋势预测和综合研判等功能(蔡寅等, 2014),并从现在的小时级提高到秒级和分钟级,快速为应急救援决策的制定和实施提供技术支撑.

(2) 充分利用国家移动互联网和“互联网+”优势,在提升地震行业专业感知的基础上,充分利用物联网高新技术,加强地震监测研发力量,设计出各类高精度传感器连入监测场地,精准地探测地球深部的瞬息万变的信息,能够实时传递给分析人员,按需调用,形成地震大数据云平台,推进大数据共享共用(屈佳和王宁, 2014),形成地震大数据物联网体系.

## 2 基于物联网的地震监测架构

建立一个基于物联网和云计算的地震云平台,以地震应急调度指挥平台为核心,能够覆盖各级地震系统,实施掌控监测区域、流域、空间的当前监测状况.在感知、传输、支撑、应用四个方面进行构建,其中最底层由在线监测网络和设施运用感知网络,中层为数据传输为主的网络传输层,上层为云计算平台,为整个系统提供云数据中心和云服务中心(潘俊方等, 2016).结合物联网实时地震监测与数据收集,将为地球多位空间监测提供新的发展方向.地震物联网在技术架构如图1所示.

(1) 感知层,即现场监控端,由传感设备和仪表构成.通过在监测领域布设智能设施,实时监测地震的测震仪、强震动加速度仪、地下水位、水温探测仪、地下水化学离子浓度探测仪、地形变应力仪、重力仪、气压仪、测地电阻仪、磁力仪、卫星、远红外探测、现场设备身份识别二维码标签、RFID 标签、摄像头等各类感知终端实时感知获取地球物理场和化学场变化信息,从不同角度进行多位感知和监测数据采集(滕云田等, 2016).随时随地查询了解地球电磁场、形变、GPS、GNSS 变化信息等立体监控,让数据通过网络进行统计和理性分析,缔造新形式地震监测信息共享网络.

(2) 网络层,是负责数据的传输,通过卫星定位 GPS、物联网、4G 网络、GPRS、无线 ZigBee 等将采集到的可靠的数据传输至云计算中心,实现通讯网、互联网与卫星网互联(吴蒋等, 2008; 张正峰等, 2015).

(3) 支撑层,即云平台层,是数据存储、分析与服务平台.云平台分为数据中心和服务中心.实现数据存储、数据分析、数据整合和数据共享.该层由数据库服务器、前置接口服务器、数据存储服务器和安全保障体系等组成,是地震大数据应用的基础设施,该层是整个系统结构中最基础的部分(段兴涛, 2014).系统支撑层利用基于宁夏电子政务公共云平台的云计算技术对地震物联网大数据进行存储、分析与挖掘.

(4) 应用层是物联网和用户的接口,与行业需求结合,实现数据存储、查询、分析调度等.应用集群、web 服务、云计

算、分布式等技术实现地震数据的智能化、自动化精准管理 (Labrinidis and Jagadish, 2012)。

该平台既能实现对重点监测区域或观测环境恶劣的地方进行无人值守的自动在线,帮助地震监测及时、准确全面地了解监测状况,又能为应急调度、震情研判提供有力支撑。

### 3 基于云计算的地震大数据架构

物联网是大数据的重要来源,而云计算为大数据提供了技术基础。基于宁夏电子政务公共云平台,用户不需要精通或控制“云”中的技术基础设施,不需要专门的IT团队,也不需要购买、安放、维护等硬件资源。由于传感器技术、移动互联网技术和物联网技术的推动,产生了巨量数据,从而推动大数据的发展(马建光和姜巍, 2013)。并且由于传感器和设备从精密到简单、从笨重到智能、从昂贵到低廉、从量少到量大,也推动大数据的发展。而地震大数据还具有其行业特点,那就是它突破了传统地震小数据的束缚,不仅仅是地震行业自己的专业数据,还通过互联网和物联网获取了更深入的社会感知数据,体现了地震数据复杂多样的本质内涵,它在发掘和地震应急关联的操作中具有快速、简单、决策迅速的特点(侯跃伟等, 2015)。这就是运用大数据的理论、技术和方法,解决地震应急领域应用的一系列问题,更加以数据为依据,对推进地震应急调度平台的智能化具有重要作用。

#### 3.1 地震大数据解决方案

大数据不在于能够掌握多大的数据量信息,而在于对其有价值数据的挖掘处理能力。本研究按照顶层设计原则,地震大数据平台通过物联网终端从不同角度采集各类地球物理相关的探测信息(李忠等, 2014),建立“天地立体化”防震减灾大数据体系,实现精准地震定位、地震应急决策管理等地震大数据需要考虑的重点。建设地震大数据应急调度平台:

(1) 建立地震数据的存储、处理系统,完成地震大数据资源的分布式存储(刘坚等, 2015),部署并行计算框架,为地震大数据的管理和分析处理提供基础服务。同时有效提高宁夏电子政务公共云平台的计算、存储及网络等资源利用率。

(2) 建立以地震科学数据为主体,完善与气象、水文、地质、农业等部门数据共享机制,打破行业局限,实现跨界资源共享,为地震数据分析挖掘提供数据支撑。

(3) 建立行业专家分析系统,利用云计算、大数据技术的高效处理能力,建立前兆数据信号异常检测机制,提取震前数据变化异常特征,探索地球板块振动规律受气候及内部化学能量变化的影响机理,为动态灾害预测和决策提供更加精准的技术支持(张晁军等, 2015)。

#### 3.2 地震大数据技术架构

基于宁夏电子政务公共云平台,实现分布式文件系统存储、分布式计算及海量数据处理。针对海量数据处理,尤其是实现快速文本处理响应,缩短海量数据为辅助决策提供服务的时间,把计算、存储、数据等资源以服务的形式提供给请求者以完成信息处理任务的方法和过程。地震大数据技术架构如图2所示。

宁夏电子政务公共云平台底层采用标准的x86服务器,通过部署云操作系统将各个云服务和大数据服务按照集群

进行整合,对外提供统一的资源服务。云操作系统的底层分布式文件系统聚合普通PC服务器的磁盘资源,屏蔽硬件差异,提供可靠的统一存储空间,并对每份数据提供三个备份。云操作系统的分布式调度系统采用有向无环图的方式调度。弹性计算服务(Elastic Compute Service,简称ECS)、开放数据处理服务(Open Data Processing Service,简称ODPS)等都采用分布式存储作为底层的存储系统,并采用分布式调度系统进行计算与存储资源的分配与调度。其中弹性计算服务(ECS)主要提供地震应急系统运行的环境,开放数据处理服务(ODPS)主要提供海量地震大数据离线处理,关系型数据库服务(Relational Database Service,简称RDS)主要提供各种关系型数据库服务,负载均衡(Server Load Balancer,简称SLB)主要提供4层7层协议的负载均衡,云盾主要提供各种安全防护功能。这些服务整合在一起构建了一个安全的、海量的计算与存储资源。实验结果表明,基于宁夏电子政务公共云平台的地震大数据技术框架为大规模数据的分布式并行处理提供了很好的解决方案。该平台能够提供高吞吐量的数据访问,适合存储TP到PB级的大文件。

#### 3.3 地震云平台总体架构

云计算平台目前比较流行的解释是提供云服务支持的平台也就是大家经常听到的PaaS(平台即服务),PaaS平台在云计算架构中位于中间层,其上层是SaaS,其下层是IaaS。按照地震云平台顶层设计的思路,借鉴目前国际国内同类项目建设经验,初步搭建了宁夏地震云平台总体架构,主要包括地震云平台监测体系、控制体系、传输网络、地震数据中心、应用、服务对象、安全保障及推进机制等8大部分,具体框架如图3所示。

云平台在具有平台性质的同时,更多的带有云的特性,所以云平台并不是现在各种各样的平台,它也不会仅限于这个层面在地震业务梳理和分析的基础上。地震云平台建设,完善地震监测体系,和传统的监测手段相比,地震云平台需要利用遥感、卫星、物联网等技术,构建智能感知体系,确保信息互通和资源共享,形成“空天地”一体化的地震立体感知监测体系。通过元数据库结合数据资源目录的方式实现数据的标准化管理,并在现有综合库的基础上建设数据仓库,为分析、统计、决策等过程提供数据支撑。

### 4 地震应急调度平台设计

#### 4.1 系统平台设计

宁夏地震大数据应急调度平台部署在宁夏电子政务公共云平台上,利用云计算资源、云存储资源和大数据资源搭建地震应急调度平台,解决机房、硬件、操作系统和数据库存储等底层问题(孟祥宝等, 2014)。平台采用GIS、GPS、通信网络、信号处理和图形图像处理等多种高新技术,保障平台具有一定的前瞻性。依据地震大数据的特点及其存储应用所需要具备的各种功能特征(孟小峰和慈祥, 2013),决定了地震大数据应用的技术体系架构上采用基于分布式处理的软件系统。为了保证系统的高可用性、高可靠性和可扩展性,平台选用J2EE的企业标准作为多层分布式架构的解决方案。J2EE技术的基础是JAVA语言,保证开发的应用系统具有跨平台能力。同时,系统采用B/S结构,在网络连通的条件下,

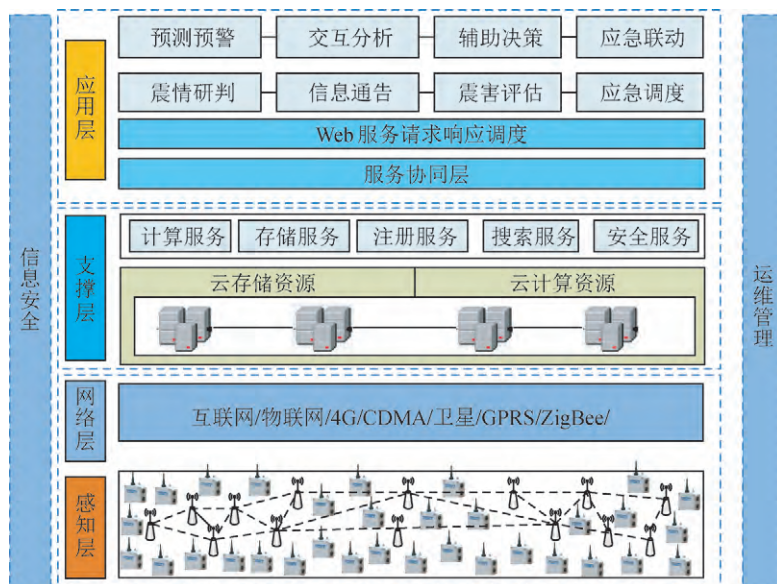


图1 基于云计算技术与智能化地震监测的物联网框架

Fig. 1 Framework for internet of things based on cloud computing and intelligent earthquake monitoring

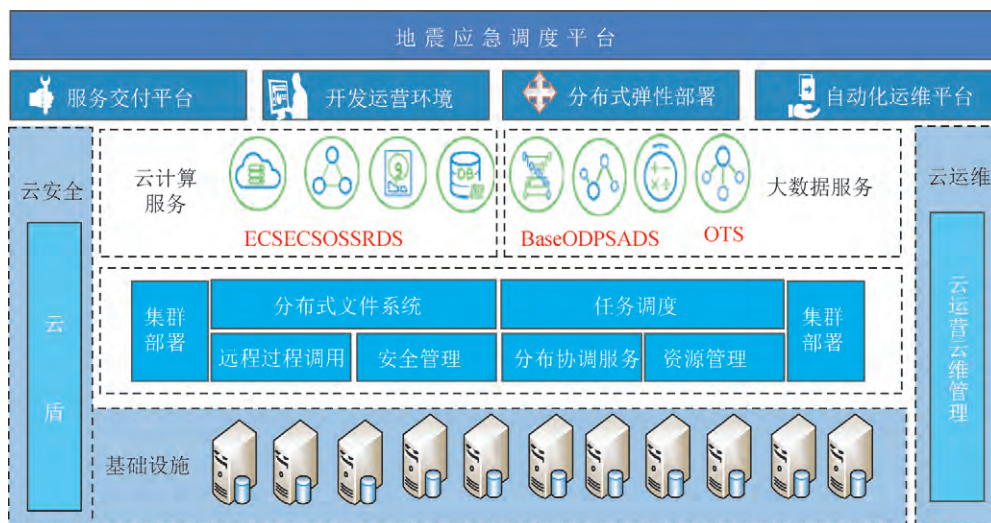


图2 地震大数据应用技术架构

Fig. 2 Application framework of large earthquake data

所有用户通过客户端浏览器或移动终端 APP 就可以访问系统,达到一次部署处处访问的高灵活性。地震应急调度系统的工作流程见图 4 所示。

各种用户可以通过网站、手机 APP、微信、热线电话 12322 可以快速获取地震应急信息,为公众提供方便快捷的地震应急服务。平台立足宁夏地震大数据,同时获取全国地震大数据,对大数据进行挖掘发现隐藏于其后的规律或数据间的关系,充分挖掘这些数据的价值。同时推进人工智能、机器学习和深度学习,向智慧地震应急发展,形成一个完整的基于大数据的地震数据智能化收集、智能化核算分析、智能化发布和智能化监管的体系。

宁夏电子政务公共云平台为地震大数据应急调度平台

提供了应用环境支撑。依托全区电子政务外网与全区各级救援机构进行网络连接,实现了基础网络通讯保障。

#### 4.2 系统功能介绍

系统功能主要是:

(1) 大数据采集、获取和汇集存储功能。平台不仅采集地震行业各种观测、预报、应急救援、震害防御、政务等数据,还同时采集各行各业和地震相关的数据,以及互联网地震感知的各种数据。将这些巨量数据按大数据的方式进行存储。同时采用人工智能技术获取和产出地震应急响应的各种智能化的产品。这些数据和产品对行业内外开放,鼓励社会利用这些数据创新地震应急技术。

(2) 自动地震应急快速响应功能。在大地震发生时,通



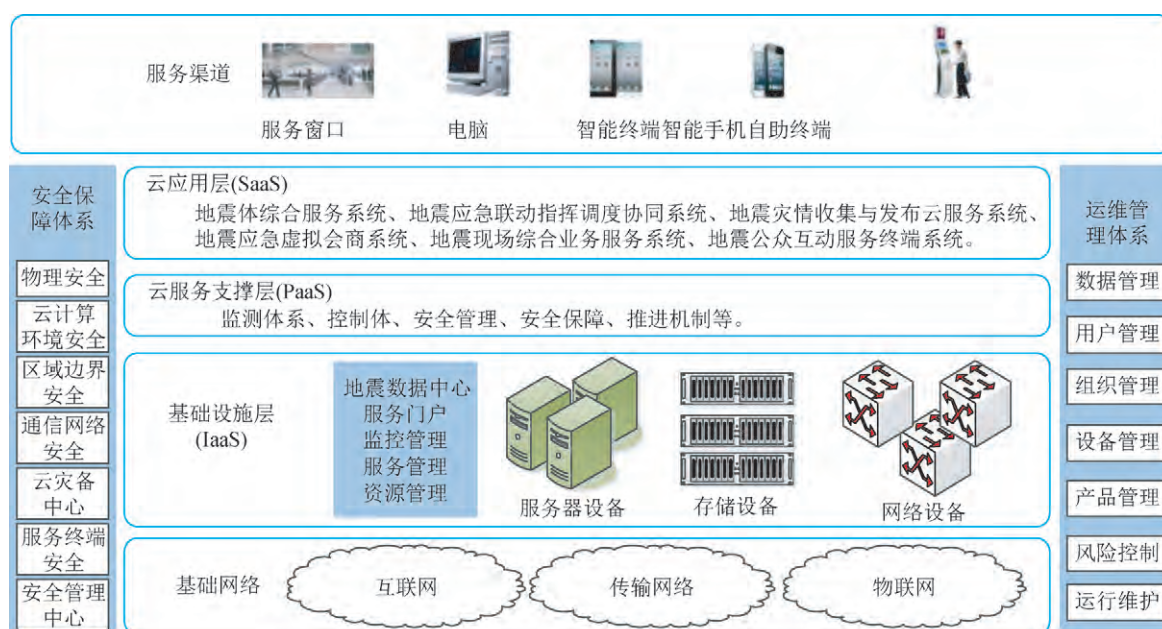


图3 地震云平台总体架构

Fig. 3 Overall architecture of seismic cloud platform

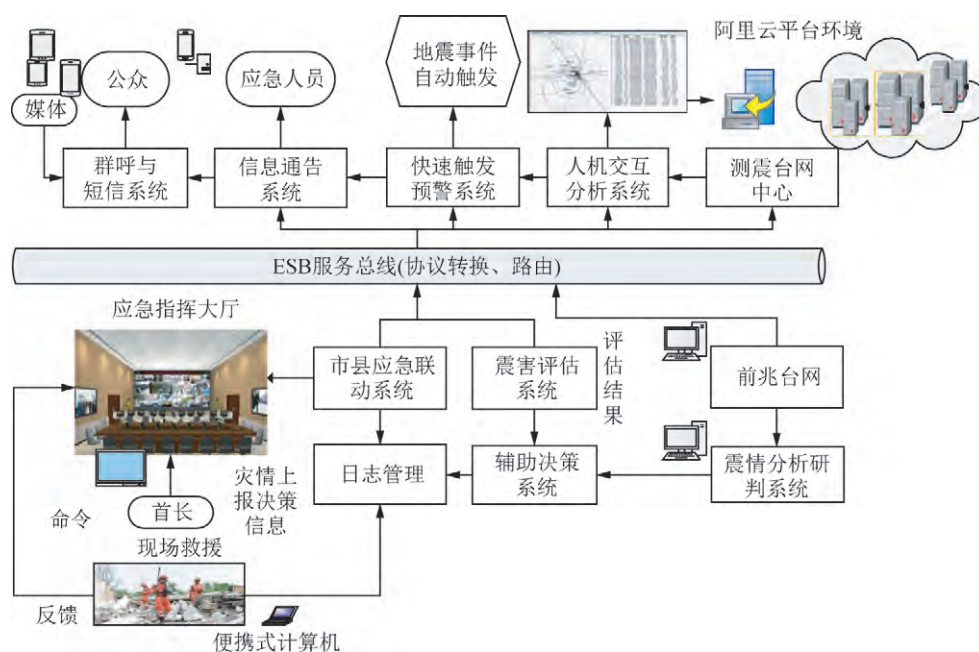


图4 应急调度系统平台流程

Fig. 4 Platform flow of emergency dispatch system

过地震速报、地震预警或烈度速报等触发,自动响应快速获取各类地震信息,智能处理自动评估地震灾害和动态修正评估结果,利用智能处理结果,为自治区政府自动提供各类应急响应信息服务及各种应急指挥辅助决策意见(图5)。

(3) 信息共享和智能发布功能。平台以分级别多视角展示地震监测的实时信息,向区、市、县自动推送精细和精准的地震应急响应服务,为各级政府提供不同的观察视角、实时

汇总信息。通过电子大屏幕播放、WEB终端、手机APP等为应急工作人员提供各类精细报表与信息,并能提供实时查询所有应急信息功能。

(4) 服务公众功能。通过专用手机和移动终端,联合网络新媒体运营商,为大地震影响的区域公众提供推送精准地震应急各种信息服务,达到稳定社会、抗震减灾的效果。

地震发生后,各级应急救援机构可以通过数据交换接口



图5 应急调度中心应用平台

Fig. 5 Application platform for emergency dispatch center

与地震大数据应急调度平台系统进行数据共享与交换. 系统运用大数据的技术和人工智能对地震灾害过程中的数据进行分析处理. 在灾情研判、灾情获取、协调指挥、人员搜救、灾害评估、应急调度等方面实现“精准化”的应急决策和服务. 为政府灾害管理和为公众服务提供高技术支撑. 最大限度地减少地震时的混乱、人员伤亡和经济损失. 使地震部门在震后第一时间与各类专业救援力量衔接调度更加有序. 应急处置能力全面提升.

## 5 结 语

运用物联网、云计算和大数据技术, 从总体架构、功能设计及技术实现几个方面对宁夏地震应急调度平台进行了设计. 将后续需加强在卫星航空遥感、地理信息系统、全球定位系统和物联网等高新技术研究, 充分挖掘地震“大数据”的内在价值. 将为行业的快速发展、地震预报、地震应急、灾害防御和科技创新提供高新技术手段. 相信随着物联网技术和数据挖掘技术的不断进步, 传感器感知会越来越精准, 为地震预测预警和抗震救灾提供更加智能化的服务.

致 谢 感谢审稿专家提出的宝贵修改意见和编辑部的大力支持!

## References

- Botta A, de Donato W, Persico V, *et al.* 2016. Integration of cloud computing and internet of things: A survey [J]. *Future Generation Computer Systems*, 56: 684-700.
- Cai Y, Liu X Q, Zhao Y G, *et al.* 2014. Application research of earthquake early warning system based on cloudstack (in Chinese) [C]. //Abstracts of Research Activities on Big Data, Cloud Computing Geophysical Applications. Shijiazhuang: Information technology Specialized Committee of the Chinese Geophysical Society.
- Chang V, Kuo Y H, Ramachandran M. 2016. Cloud computing adoption framework: A security framework for business clouds [J]. *Future Generation Computer Systems*, 57: 24-41.
- Chen H Z. 2016. Thinking on big data of earthquakes [J]. *City and Disaster Reduction* (in Chinese), (2): 1-5.
- Duan X T. 2014. Design and implementation of raw material coal purchasing management information system for coal enterprises (in Chinese) [Master's thesis]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China.
- Guo H D, Wang L Z, Chen F, *et al.* 2014. Scientific big data and digital earth [J]. *Chinese Science Bulletin*, 59(35): 5066-5073.
- Hou Y. 2017. The application discussion of big data technology in intelligent transportation [C]. //Proceedings of 2nd International Conference on Computer Engineering, Information Science & Application Technology. Wuhan: ICCIA.

- Hou Y W, Cai Y, Wu D, *et al.* 2015. Development and application of urban earthquake emergency integrated drill system [J]. Recent Developments in World Seismology (in Chinese), (11): 19-24.
- Jun X Y, Yu L Q, Na L, *et al.* 2017. Cloud server software design of street light management system [C]. //Proceedings of 2nd International Conference on Computer Engineering, Information Science & Application Technology (in Chinese). Wuhan: ICCIA.
- Labrinidis A, Jagadish H V. 2012. Challenges and opportunities with big data [J]. Proceedings of the VLDB Endowment, 5(2): 2032-2033.
- Li Z, Li S S, Han Y. 2014. Earthquake monitoring, big data technology research framework [C]. //Big data, Cloud Computing and Geophysical Applications Research Abstract Abstracts (in Chinese). Shijiazhuang: Research on Large Data, Cloud Computing and Geophysical Applications.
- Lin J, Ryaboy D. 2013. Scaling big data mining infrastructure: The twitter experience [J]. ACM Sigkdd Explorations Newsletter, 14(2): 6-19.
- Liu J, Li S L, Dai M, *et al.* 2015. Research of earthquake big data storage based on Hbase [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics (in Chinese), 35(5): 890-893.
- Ma J G, Jiang W. 2013. The concept, characteristics and application of big data [J]. National Defense Science & Technology (in Chinese), 34(2): 10-17.
- Ma W J, Jin W Z, Xu W J, *et al.* 2013. Emergency controller platform design based on internet of things in earthquake monitors platform net [J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration (in Chinese), 33(1): 186.
- Mell P M, Grance T. 2011. The NIST definition of cloud computing [R]. Technical Report SP 800-145, Gaithersburg: National Institute of Standards & Technology.
- Meng X B, Xie Q B, Liu H F, *et al.* 2014. Architecture and platform construction of big data application in agriculture [J]. Guangdong Agricultural Sciences (in Chinese), 41(14): 173-178.
- Meng X F, Ci X. 2013. Big data management: Concepts, techniques and challenges [J]. Journal of Computer Research and Development (in Chinese), 50(1): 146-169.
- Pan J F, Fan A J, Ru Y, *et al.* 2016. Intelligent traffic big data mining system based on iot [J]. Wireless Internet Technology (in Chinese), (5): 25-26.
- Qu J, Wang N. 2014. Discussion on "Big data" of earthquake profession [J]. City and Disaster Reduction (in Chinese), (4): 24-26.
- Santos M Y, Sá J O E, Andrade C, *et al.* 2017. A Big Data system supporting Bosch Braga industry 4.0 strategy [J]. International Journal of Information Management, 27(6): 750-760.
- Teng Y T, Hu X X, Wang X Z, *et al.* 2016. Extending dynamic range of the seismic data acquisition system by using multi-channel ADC [J]. Chinese Journal of Geophysics (in Chinese), 59(4): 1435-1445, doi: 10.6038/cjg20160424.
- Wu J, Li Z, Zhang Y B. 2008. Design of the search and rescue work system based on ZigBee technology [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 23(4): 1336-1339.
- Zhang C J, Chen H Z, Li W D, *et al.* 2015. Thinking of earthquake monitoring and prediction at the age of big data [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 30(4): 1561-1568, doi: 10.6038/pg20150410.
- Zhang Z F, Chen B G, Liu N. 2015. Application of AdHoc Wi-Fi and 4G communication in wireless seismic data acquisition station [J].

Progress in Geophysics (in Chinese), 30(5): 2337-2341, doi: 10.6038/pg20150547.

## 附中文参考文献

- 波塔 A, 多纳 W D, 该 V, 等. 2016. 云计算和物联网的融合(英文版) [J]. 未来计算机系统, 56: 684-700.
- 蔡宾, 刘希强, 赵银刚, 等. 2014. 基于 CloudStack 的地震预警系统应用研究 [C]. //大数据、云计算与地球物理应用研讨活动论文集摘要集. 石家庄: 大数据、云计算与地球物理应用研讨活动.
- 陈会忠. 2016. 地震大数据思维 [J]. 城市与减灾, (2): 1-5.
- 段兴涛. 2014. XX 煤炭企业原料煤采购管理信息系统的设计与实现 [硕士论文]. 成都: 电子科技大学.
- 侯跃伟, 蔡艺, 吴东, 等. 2015. 大中城市地震应急综合演练系统开发及应用 [J]. 国际地震动态, (11): 19-24.
- 俊晓阳, 玉林奇, 厉娜, 等. 2017. 路灯管理系统的云服务器软件设计 [C]. //第二计算机工程国际会议论文集. 武汉: 计算机工程国际会议.
- 李忠, 李姗姗, 韩莹. 2014. 地震监测大数据技术研究框架 [C]. //大数据、云计算与地球物理应用研讨活动论文集摘要集. 石家庄: 大数据、云计算与地球物理应用研讨活动.
- 刘坚, 李盛乐, 戴苗, 等. 2015. 基于 Hbase 的地震大数据存储研究 [J]. 大地测量与地球动力学, 35(5): 890-893.
- 马建光, 姜巍. 2013. 大数据的概念、特征及其应用 [J]. 国防科技, 34(2): 10-17.
- 马文娟, 金伟祖, 许文俊, 等. 2013. 基于物联网的地震监测台网应急调度平台设计与应用 [J]. 地震工程与工程振动, 33(1): 186.
- 孟祥宝, 谢秋波, 刘海峰, 等. 2014. 农业大数据应用体系架构和平台建设 [J]. 广东农业科学, 41(14): 173-178.
- 孟小峰, 慈祥. 2013. 大数据管理: 概念、技术与挑战 [J]. 计算机研究与发展, 50(1): 146-169.
- 潘俊方, 樊阿娇, 茹艳, 等. 2016. 基于物联网的智慧交通大数据挖掘系统 [J]. 无线互联科技, (5): 25-26.
- 屈佳, 王宁. 2014. 地震行业“大数据”应用探讨 [J]. 城市与减灾, (4): 24-26.
- 滕云田, 胡星星, 王喜珍, 等. 2016. 用多通道 AD 分级采集扩展地震数据采集器的动态范围 [J]. 地球物理学报, 59(4): 1435-1445, doi: 10.6038/cjg20160424.
- 吴蒋, 李壮, 张运波. 2008. 基于 ZigBee 技术的地震灾区人员搜救系统 [J]. 地球物理学进展, 23(4): 1336-1339.
- 张晁军, 陈会忠, 李卫东, 等. 2015. 大数据时代对地震监测预报问题的思考 [J]. 地球物理学进展, 30(4): 1561-1568, doi: 10.6038/pg20150410.
- 张正峰, 陈炳贵, 刘宁. 2015. Wi-Fi AdHoc 与 4G 通信在无线地震数据采集站中的应用 [J]. 地球物理学进展, 30(5): 2337-2341, doi: 10.6038/pg20150547.