

时空势大数据关联的电力应急分布式通信会商系统^①

邓 创

(国网四川省电力公司 电力应急中心, 成都 610094)

通讯作者: 邓 创, E-mail: eedeng@126.com

摘 要: 时间和空间是“坚强智能电网”的基础依据, 使得电网运行状态和事故都与时空紧密关联. 在实际电力应急通信事件中, 跨域、跨网、跨时的多地区、多部分协同应急指挥和会商具有更高的实用需求. 针对电力应急通信指挥系统存在的异质数据融合难和信息关联关系表征效率低的问题, 本文研究了时空势大数据关联的电力应急分布式通信会商系统, 设计了业务无关的动态分布式电力应急随域架构, 提出了时空势大数据异质基准, 设定的融合基准能够有效将不同数据转换到地理时空坐标上. 制定了电力应急通信协商态势标绘元素分类基础. 通过在 ArcGIS 和 Linux 上搭建的电力应急协商系统进行实验验证, 本文方法能够有效提升协同响应时间和系统可视化的成功性.

关键词: 坚强智能电网; 时空势大数据; 应急通信; 会商

引用格式: 邓创. 时空势大数据关联的电力应急分布式通信会商系统. 计算机系统应用, 2018, 27(3): 77-83. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/6262.html>

Distributed Emergency Communication System for Electric Power Based on Spatial, Time, and Situation Fused Big Data

DENG Chuang

(Power Emergency Center of Sichuan Electric Power Company, Chengdu 610094, China)

Abstract: Time and space are the basis of the “strong smart grid”, which makes both the grid state and the accident closely related to them. Actually, there are more demands on emergency communication of different regions and parts. Focused on difficulties of situation fusion and weak presentation in the grid communication network, this paper proposes a distributed emergency communication system for electric power based on spatial, time, and situation fused big data. It designs an adaptive framework without relationships to services, proposes a heter-element reference for spatial and time big data. It achieves the transformation from different data into the same geo-coordinate. The classification basis of situation and plotting of grid emergency communication system is also formulated. The tests and simulations on ArcGIS and Linux demonstrate better performance in accuracy and lower data consumption.

Key words: strong smart grid; spatial, time and situation fusion; emergency communication; consultation

“坚强智能电网”(Strong Smart Grid, SSG) 是国家电力“十三五”发展规划的重要建设内容^[1], 其注重可靠性和智能化的动态平衡, 通过将电力流、信息流和业务流的深度融合关联, 在大幅提升电网运营效率的同

时, 着重增强电网的鲁棒性和安全性. 由于状态和事故的不确定性, 电力网络的运行存在不可避免的“失能”态势, 因此从全局性稳态控制出发, 应急预警和控制是坚强智能电网的必要反馈环路和自适应状态调整的重

^① 基金项目: 国家电网公司科技项目 (521995150001)

收稿时间: 2017-07-02; 修改时间: 2017-07-17; 采用时间: 2017-07-20; csa 在线出版时间: 2018-02-09

要支撑部分。

时间和空间是电力网络建设的基础依据,使得电网运行状态和事故都与时空紧密关联,国内外科研机构都将基于地理空间信息作为电力应急系统的重点突破思路,其主要集中在全局网络随时控制、地域网络脆弱性、电力负荷特征管制等时、空、电多元因素。全局网络随时控制主要是以电力系统发电、输电、变电、配电、用电和调度的单一步骤信息抓取^[2],每一步骤的状态紧密依靠前一步骤的态势发展,因此,采集数据量大、传输时延长,反馈控制效果差。地域网络脆弱性是基于 GIS (Geographic Information System) 映射到电力传输网络,构建以地理信息关联集群调度指挥信息、应急移动视频会商数据、应急单兵需求等,使得电力应急态势以地图形式显示在可视化的平台中^[3],大幅提升了电网应急系统的信息可用性。

通过与灵通度结合,构建电力通信网络的抗毁性模型,设计可靠性测度指标^[4],能够对电力通信网络的保障能力进行有效评估。但是纯物理网络概念需要进一步扩展到实际电力运营元素中才能具有实质性指导意义。因此引入态势标绘系统,融合地理信息系统^[5],构建一体化的应急态势多维特征表达平台,将能在不同异构网络下多源平台态势融合分析和协调。基于实体模型的二维军标标绘技术^[6]进一步从地理信息角度提升应急处理的精细度。路径选择算法^[7]、跨平台符号转换^[8]、态势标绘元素分类体系^[9]等新技术和方法的提出,优化了电力应急系统的适应能力和基准。

NG (Next Generation) I12 Crossroads 应急通信项目^[10]于 2016 年被提出,面向异构网络融合以及服务聚合的需求,提出了新型的应急通信架构,其包括应急服务路由代理 ESRP (Emergency Service Routing Proxy), 应急呼叫路由功能 ECRF (Emergency Call Routing Function)、边界控制功能 BCF (border control function)、传统网关 LNG (Legacy Network Gateway) 以及位置信息服务器 LIS (Location Information Server)。由此,可以以 OTT (Over The Top) 和 VoLTE (Voice on Long Term Evolution) 的模式接入到应急通信网络中,从而提供更方便的应急通信服务。KE Markakis 等提出了 EMYNOS 下一代应急通信项目^[11],其设计了分离交互关联的应急通信网络架构,融合了位置管理、互操作管理以及内容感知管理等功能形成服务中间件,为业务监测点以及应急通信节点提供快速的网络管理服务。学习增

强型的应急通信架构 RescueNet^[12]设计了自适应节点用于感知应急通信区域的网络流量,并构建了强交互的知识共享代理,有效提升了特定任务下流量突发剧增的通信服务效率。

然而,在实际电力应急通信事件中,跨域、跨网、跨时的多地区、多部分协同应急指挥和会商具有更高的实用需求,因此实际应用中主要存在以下两方面的问题。

(1) 异质应急信息缺乏等效时空基准,难以支撑分布式应急协作和管理。传统的多方在线会商基于流媒体协议进行网域内单维传输,语音、文字和视频中缺乏统一的地理信息标志,异质数据难以在数据层进行基于时空信息的融合。

(2) 对象间的空间关系在应用层中表征效率低,态势信息的可用程度依赖于决策者原有的知识库,难以提升电力应急信息的作用效果。由此电力网络的事故发生随机性、随域性、随时性严重,因此决策者很难从已过滤的数据中获得具体的参考信息,事件发生的地点、周边地理环境、现场路网分布、故障影响范围、应急资源的分布以及抢修队伍力量部署位置等信息关联关系弱。

因此,针对电力应急通信指挥系统存在的异质数据融合难和信息关联关系表征效率低的问题,本文研究了时空势大数据关联的电力应急分布式通信会商系统,设计了业务无关的动态分布式电力应急随域架构,使得系统架构能够适应电力应急通信的特定需求,随时扩展系统功能。提出了时空势大数据异质基准,设定的融合基准能够有效将不同数据转换到地理时空坐标上。制定了电力应急通信协商态势标绘元素分类基础,准确地评估跨地区、跨部门的业务应急能力,减少了数据维护和地图统一的难度。通过在 ArcGIS 和 Linux 上搭建的电力应急协商系统进行实验验证,本文方法能够有效提升协同响应时间和系统态势可视化的成功性。

1 业务无关的动态分布电力应急随域架构

业务无关的动态分布式电力应急随域架构设计首先是借鉴了软件定义网络 (Software Defined Network, SDN) 的控制与传输相分离思想,将电力应急通信网络的业务与控制分离,通过与业务无关的软件可编程组件进行网络构造^[10],同时将应急通信网络设备完成某

一区域的互联共享,基于应用、用户、会话的实时变化来实现不同的细粒度控制.由此,将电力应急通信网络从功能层面上虚拟划分为应用层、控制层和设备层三个维度,如图1所示.

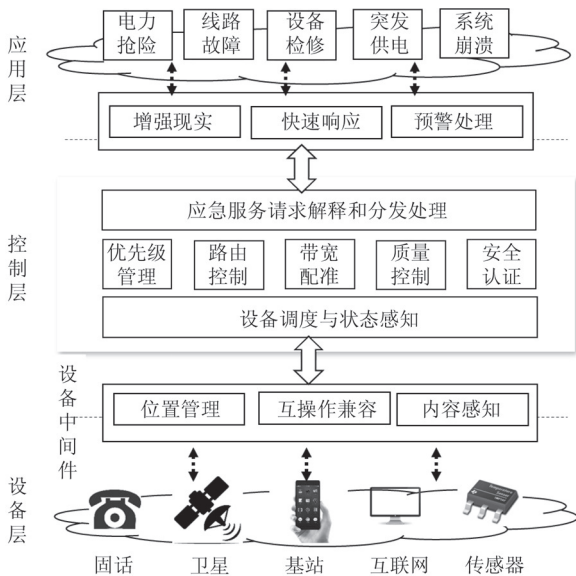


图1 业务无关的动态分布式电力应急随域架构

1.1 随域电力应急通信应用层

由于电力应急通信具有随时发生、优先处理的特性,使得其对于网络利用流量分时不均以及处理时延过大的问题.

随域接入和通信的需求,要求电力应急通信业务能够依托于可编程按需定制,且无须通过繁琐的底层设备配置,即可完成事故发生处到控制中心的端到端可靠实时传输.

因此,在电力应急分布式通信会商系统中设定了增强现实、快速响应和预警处理,响应对电力抢险、线路故障、设备检修、突发供电和系统崩溃等情况进行归一化处理.在服务平台端,设置对线路监控的高清摄像设备,并与虚拟监控平台的场景和对象进行快速关联和表达,由此能够在会商系统中实现增强现实的应急状态感知.同时,在服务处以下设定了应急事件库,将能够预知或者是已经发生的电力网络故障的应急通信服务状态、流程和需求进行操作记录.当故障发生时,能够实现应急通信的实时响应以及预警.

1.2 全局集中管理控制层

由于电网数据中心和SDN的建设,使得电力应急通信首次具备了协调全局网络资源的控制器.通过对

北向接口的实体化定义,首先在与随域电力应急通信设定一个应用服务请求解释和分发处理的模块,能够将服务级别的原语快速转换为网络控制原语.设计优先级管理、路由控制、带宽配准、质量控制以及安全认证,有效向应急通信服务提供分发与控制分离的网络交换.通过南向接口,实现openflow控制精确感知当前电力通信网络的数据传输状态,最快传输路径能够在控制器完成最优规避,同时通过拓扑管理和表项下发为应急通信业务提供应急通道.

1.3 业务无关的动态接入设备层

业务无关、动态接入将是电力应急通信网络底层设备建设的重点.电力应急通信的场景复杂,在实际演练过程中,通信网络被损毁的可能性很大,网络通信设备地域上也是随机的,因此往往承载在各种网络设备上,如固话、卫星、基站、互联网或者传感器网络.因此,为了实现在应急事故中无差别随遇传输要求,设计了位置管理、互操作兼容以及内容感知功能模块,利用基于地理位置的位置管理,实现关联区域的底层设备快速接入,通过互操作兼容降低由于不同标准和架构的设备兼容问题,利用内容感知功能,为应急通信服务选定最优的底层设备.

2 时空势大数据异质基准

传统的多方在线会商基于流媒体协议进行网域内单维传输,语音、文字和视频中缺乏统一的地理信息标志,异质数据难以在数据层进行基于时空信息的融合.因此本文将提出了时空势大数据异质基准,设定的融合基准能够有效将不同数据转换到地理时空坐标上,如图2所示.

2.1 情境事件的态势模型

计算机可以根据当前不同角色所处的不同地点、不同时间基于不同事件前提,提供按时按需按点的信息服务,这是情境感知赋予到普适计算中能力,其能够有效适应电力事故和业务发生的随机随时随域处理需求.

首先给定情境空间 C^n , $a_1, a_2, a_3, \dots, a_k$ 为 k 个线性不相关的事件,且有事件组合 $b = a_1 \wedge a_2 \wedge \dots \wedge a_k$.由此将原先单维事件向量向多维度任意扩展,而 a_1 与 a_k 之间具有相对的自主性,使得每一个事件都能有自身发展、成长和消亡过程,可以相互影响也可以相对独立.同时, b 作为分事件合集的效能必然不等于情境空间 C^n 的总效能.

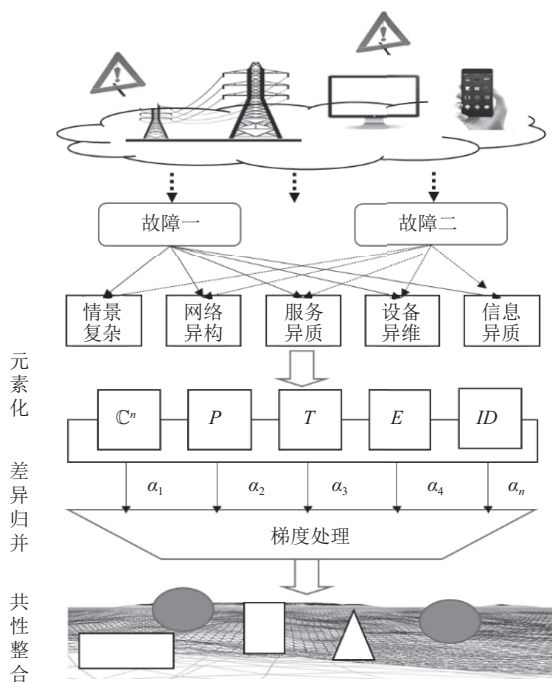


图2 基于时空势的大数据处理状态

根据几何代数空间理论, 内积和外积运算满足加法的分配律和结合率, 分事件合集的效能 b 与单一事件 a_k 之间的关系如下:

$$\sum_{i=1}^m \alpha_i a_i \cdot \sum_{i=1}^n \beta_i b_i = \sum_{i=1}^m \sum_{i=1}^n \alpha_i \beta_i (a_i b_i) \quad (1)$$

由此, 我们可以通过将电力通信应急事故划分为不同特征单事件, 每一个事件中可以由时间、空间、态势等组成, 时间和空间可以与任一事件进行组合, 从而实现事件中的态势特征嵌套. 设定的融合基准能够有效将不同数据转换到地理时空坐标上.

2.2 基于时空势的大数据处理模型

基于时空势的大数据关联的首要任务, 是从电力应急信息系统的原始数据中抽取出事事故演进态势, 由此首先以情境事件态势模型构建出单区域 P 、单时段 T 和单事件 E 的态势发展参数, 由此可以得到:

$$\begin{cases} P = C^n \cap p \\ T = C^n \cap t \\ E = C^n \cap e \end{cases} \quad (2)$$

其中, p, t, e 为电力应急通信事故的地点、根据电力应急通信的发生规律, 可以得到时空势的零阶特征和二阶特征, 其中某一时刻的电力应急通信事件的时空势数据为 $C^n = \langle P, T, E \rangle$, 某一特定事件的时空势数据可以具体化为 $c = \langle P(x, y), T(t), E(e) \rangle$. (x, y) 为电力事故发生的具体地点和场所, 为了网格化管理, 可以进一步

转化为网格号, 即:

$$ID(n, t) = (x(n, t), y(n, t)) \quad (3)$$

从以上特定区域内 $ID(n, t)$ 的时空势数据中, 计算出不同参数下的梯度值, $\delta c / \delta p$ 、 $\delta c / \delta t$ 以及 $\delta c / \delta e$, 提升可去除原始观察数据的混杂性和稀疏性.

2.3 基于 k-means 的电力事故大数据稀疏过程

假设电力事故的数据特征可以抽象为 n 个数据集, 则有 $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, 其中每一个数据可以具有 q 个属性, $x_j = \{x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jq}\} \in R_q$. 利用 k-means 算法可以将这个目标数据群分为 k' 个簇.

步骤 1. k' 个初始聚类中心是 $c = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$. 选择聚类最大迭代次数 m ; 确定迭代结束的最小目标函数 T .

步骤 2. 根据欧氏距离公式, 计算每个数据到簇的距离, 将各数据分到最小距离的簇中, 其中计算距离公式为:

$$d(x_j, c_n) = \sqrt{\sum_{n=1}^l (x_{j1} - c_{n1})^2} \quad (4)$$

$d(x_j, c_n)$ 是第 j 个数据到第 n 个聚类中心的距离.

步骤 3. 重新计算 k' 个聚类的中心值 $c = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$, 其计算公式为:

$$m_j = \frac{1}{n} \sum_{x_j \in c_n} x_j \quad (5)$$

m_j 为第 j 个聚类的聚类中心.

步骤 4. 若迭代次数等于 m , 则结束聚类, 否则判断聚类结果是否满足小于给定参数 T , 如果满足则结束, 不满足重复步骤 2、3.

3 电力应急分布式通信会商系统设计

基于业务无关的动态分布式电力应急随域架构, 能够实现基于应用、用户、会话的实时变化来实现不同的细粒度控制, 同时, 构建时空势大数据异质基准, 可将不同数据转换到地理时空坐标上. 因此, 电力应急分布式通信指挥系统采用 B/S 模式, 由 GIS 服务器、在线会商服务端、在线会商客户端、数据库服务器构成. 系统采用分布式部署方式, 现场移动应急平台通过在线会商系统, 快速将事故现场故障信息分发给各应急平台的会商者, 同时将后方多部门的辅助决策信息及时交汇到应急处置现场, 后方多部门之间也能实现信息的交换.

依据业务无关的动态分布式电力应急随域架构,

可将电力应急分布式通信指挥系统划分为九个功能层次,分别是电网业务地理信息服务层、电力通信基础网络传输层、异构多元数据转换层、图元标注绘制协同处理层、系统运行日志管理层、网间网元实时通讯层、数据分布式共享层、电力业务动态表现层,简明架构如图3所示。

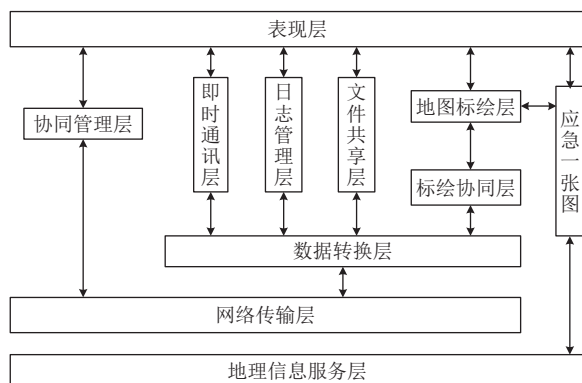


图3 电力应急分布式通信指挥系统架构

电网业务地理信息服务层向依据地理信息系统所制定的电网空间元素特征提供地理信息服务接口,形成针对电网基础设施的标注和绘制图形基础。电力通信基础网络传输层与网间网元实时通讯层主要对电网通信设施进行统一管理,实现电网控制信令和数业务连接、保持的安全性和可靠性传输。异构数据在格式和结构上均存在明显的差异性,因此将数据转换为超链接文本方式,以比特流通过网页数据通道。图元标注绘制协同处理层负责电力地理信息系统中的电力元素沟通协作,从而确保地理图上的对象能够交互通信。为了统一管理电力应急通信系统的复杂元素,需要依赖于系统运行日志管理层对通信、运行、计算、处理的状态记录和管理。数据分布式共享层和电力业务动态表现层能够有效协同电力应急通信服务的并发式处理需求。

4 电力应急通信协商态势标绘与协同管理

应急统一态势标绘元素分类体系是指由在线会商发起者或参与会商的其他数据拥有者提供基础地图数据,会商参与者基于基础地图进行标绘,通过文字、地图、标绘符号、语音、视频等信息的交互,共同商讨电力故障应对措施。

电力应急态势标绘是对电力故障救援现场的过去、现在以及未来的随时间变化的现场态势进行标注分析。电力应急态势图主要是由应急地图和应急趋势图构成。它在应急一张图基础上,采用图形符号标绘电力应急指挥部署、应急处置方案、抢险进行线路和维修经过,形成专业态势图。

电力应急态势信息包括灾情信息、应急措施、应急物资储备、应急人员调配四大类。协同会商的处理过程如下:

(1) 协同会商的数据转化: 进行协同会商时,系统利用GIS平台提供的组件,将符号转化为二进制流存储在大型关系数据库BLOB字段,实现符号的检索、编辑和显示等功能。在线会商客户端利用序列化技术将数据库中的二进制流解析为符号对象,并在GIS平台中显示。

(2) 协同会商的消息共享: 在进行在线会商时,需要解决参与各方在跨地区、跨网络的会商协同问题,协同的内容包括文字信息的协同、地图标绘的协同、文件信息(预测预警结果、处置参考建议、方案等)的协同。任何参与者更新、添加、删除信息后,都需要及时通知其余各方同步信息,实现信息的即时共享。

(3) 协同会商的消息发布: 系统采用发布/订阅模式,通过网络控制中心,实现一对多的广播通信和集群控制的新模式,使得订阅者能够通过链路建立和服务选择,实现对某一电力应急通信服务的监听和获取,并获得互动通信的权限。当不同的订阅者根据自身状态发布消息时,整体业务会商将实现动态变化。态势标绘协同技术逻辑过程如图4所示。

这种发布订阅模式^[1]可使系统具备更好的开放性和更为动态的网络拓扑特性。

5 实现与测试

5.1 电力应急通信会商系统实现

系统数据库采用Oracle数据库,部署在Linux操作系统上,客户端以ArcGIS API for Silverlight为GIS二次开发平台,利用WCF(Windows Communication Foundation)服务构建在线会商服务器,客户端和服务端均部署在Windows操作系统上,Visual Studio 2012为通用开发工具。该系统是一个分布式的集成平台,其

功能主要包括地图共享、多用户协同标绘及管理、文件上传下载、文字聊天、用户管理、系统服务管理、音视频会议、用户操作日志记录等。

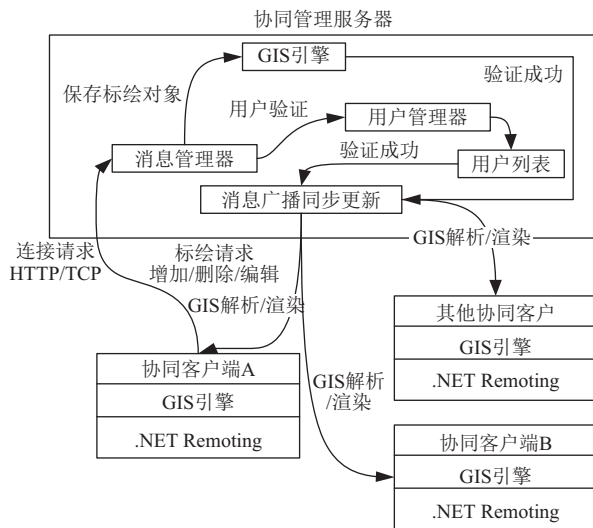


图4 态势标绘协同技术逻辑过程

5.2 应急通信会商测试

实验中选取芦山县以及宝兴县地震时电力应急通信服务情况,在系统中构建5类角色在应急通信会商系统中,分别设定领导组织应急指挥部、专家支持组、元支持组、物资保障资源组、人员保障资源组等角色.具体的会商测试参数和配置如表1所示.可以看出,应急通信会商系统在紧急事件中,数据采集量每天超过4TB,数据种类多达1200种.

表1 应急通信会商测试状态配置

观测属性	状态配置	观测属性	状态配置
测试时间	1~7天	并发事故	20~30个
测试地点	芦山、宝兴	覆盖面积	2136 km ²
设施地点	132个	采集时间点	15 000个
数据采集量	4 TB/天	数据种类	1200种

5.3 应急通信会商系统运行情况

当设定角色之后,参与者将分配相对应的操作权限,每位参与者的操作过程都能够被其他参与者看到.在模拟过程中,对系统进行了初步的测试,主要测试协同响应时间和系统可视化的流畅性.系统运行时的效果如图5所示.

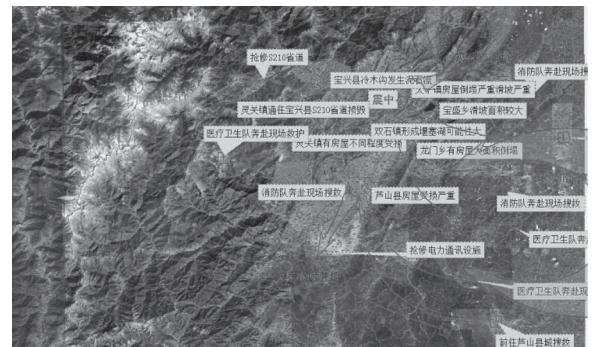


图5 事故态势可视化显示失败概率

连续运行应急通信会商系统,并通过设定不同的运行参数值和记录实际结果,得到系统协同响应时间和系统可视化的实验数据.协同响应时间,是电力应急指挥中心发出应急协商后各个分系统完成协同应答,能够开始应急通信的时间,能够正确的反映电力应急通信网络对于应急通信业务的响应能力和资源协调性能.在本实验中设置了1~20个分布式系统,进行连续观察,得到协同响应时间性能如图6所示.

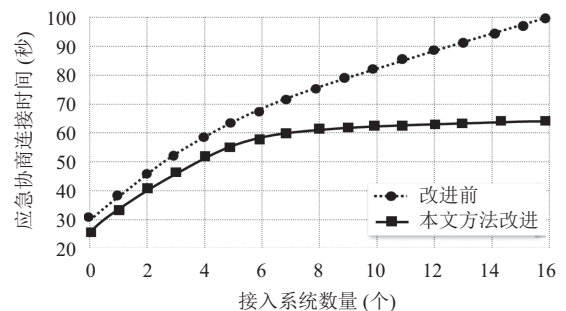


图6 系统运行效果图

如图6所示,随着接入系统数量的增加,本文改进后的应急通信会商系统由于采用了随域电力应急通信应用层和全局集中管理控制层的方案,设备的接入和移除,与电力应急通信业务无关,提升了网络的重用性.相对于原有方案应急协商连接时间提升近31.5%.

事故态势可视化是电力应急通信会商系统基于GIS平台能够直观的显示当前应急事故发展态势的表达效果.本实验中设置不同事故发生数量,记录不同时段下系统的显示成功率.

图7反映了电力应急通信会商系统的事故可视化显示失败概率.由于本文采用了时空势大数据异质基准,设定的融合基准能够有效将不同数据转换到地理时空坐标上,使得原始观察数据的混杂性和稀疏性降

低,在并发事故显示数量为20个和30个时,均能保障态势正常显示。

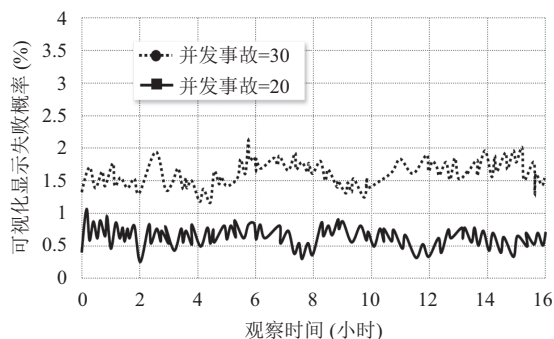


图7 协同响应时间性能

6 结论

本文提出了时空势大数据异质基准,设定的融合基准能够有效将不同数据转换到地理时空坐标上.制定了电力应急通信协商态势标绘元素分类基础,准确地评估跨地区、跨部门的业务应急能力,减少了数据维护和地图统一的难度.通过在 ArcGIS 和 Linux 上搭建的电力应急协商系统进行实验验证.相对于原有方案应急协商连接时间提升近 31.5%,且在不同数量事故并发时,均能保障系统的正常运行。

参考文献

- 1 高强,刘献伟,邱丽君.电力系统应急通信网络及其抗毁性分析.电网技术,2009,33(11):104-108.
- 2 Liu XX. Design of emergency communication network system in Chongqing City. Proceedings of 2014 International Conference on Future Computer and Communication Engineering. 2014. 5.
- 3 高强,刘献伟,张英慧.应急通信网络抗毁性分析.电力系统通信,2009,30(6):25-28,41.

- 4 王长忠,董学诚,杨晓,等.基于SDN的校园网动态服务链设计与实现.计算机应用与软件,2016,33(12):80-83. [doi: 10.3969/j.issn.1000-386x.2016.12.020]
- 5 杨伦,陈彬,黄健,等.作战仿真中通用二维态势显示系统研究.兵工自动化,2007,26(12):37-38,51. [doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2007.12.017]
- 6 张嵘,蔡洪斌,白忠建.三维态势图中标绘箭头的实时约束变形.成都信息工程学院学报,2008,23(4):380-383.
- 7 蔡菁,徐火生,王新余.基于草图的战场态势标绘系统.舰船电子工程,2008,28(11):134-137. [doi: 10.3969/j.issn.1627-9730.2008.11.037]
- 8 Kim Y, Kesavadas T. Automated dynamic symbology for visualization of high level fusion. Proceedings of the 7th International Conference on Information Fusion. Sotckholm, Sweden. 2004. 944-950.
- 9 Hagens D, Montgomery J, Moore C. Developing custom 3D visualization applications for defense using ArcGIS. Proceedings of the 2005 Developer Summit. San Diego, CA, USA. 2005.
- 10 Liberal F, Fajardo JO, Lumbreras C, et al. European NG112 crossroads: Toward a new emergency communications framework. IEEE Communications Magazine, 2017, 55(1): 132-138. [doi: 10.1109/MCOM.2017.1600301CM]
- 11 Markakis KE, Lykourgiotis A, Politis I, et al. EMYNOS: Next generation emergency communication. IEEE Communications Magazine, 2017, 55(1): 139-145. [doi: 10.1109/MCOM.2017.1600284CM]
- 12 Lee EK, Viswanathan H, Pompili D. RescueNet: Reinforcement-learning-based communication framework for emergency networking. Computer Networks, 2016, (98): 14-28. [doi: 10.1016/j.comnet.2016.01.011]
- 13 郑浩泉,靳丹,马志程.电力企业大数据基础平台.计算机系统应用,2017,26(2):1-8. [doi: 10.15888/j.cnki.csa.005604]
- 14 史坤鹏,贾正锋.融合通信系统中分布式存储引擎的研究.计算机系统应用,2017,26(2):78-82. [doi: 10.15888/j.cnki.csa.005618]