

Collectors 强震动台网数据处理系统的设计及实现^{*}

吴华灯^{1,3}, 卢大伟², 廖一帆¹, 丁莉莎¹, 叶世山¹, 劳 谦¹, 陈建涛¹,
黄 晖¹, 赵贤任¹, 王力伟¹, 卢子晋¹, 吕仲杭¹

(1. 广东省地震局, 广东 广州 510070; 2. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081;
3. 中国地震局地震监测与减灾技术重点实验室, 广东 广州 510070)

摘要: 介绍了“Collectors 强震动台网数据处理系统软件”的整体设计思路和功能模块的实现过程, 统计了近2年所接入的近千个强震动台站的数据汇集及产出情况, 重点统计了近2年云南、四川、新疆发生的5.0级及以上地震的地震事件记录回收及强震动参数产出的用时情况。结果表明: 系统软件能7×24 h连续、稳定、可靠、高效地自动化运行, 在处置地震事件时, 一般能在2~10 min内陆续完成地震事件的自动回收和强震动参数的自动产出, 速报能力由软件推广前的小时级别跃升至分钟级别。

关键词: 强震动观测; 台网; 数据接口; 状态监控; 数据处理; 强震动参数

中图分类号: P315-39 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2020)01-0185-10

0 引言

“十五”期间, 国家在21个地震重点监视防御区建设了1 154个自由场固定强震动观测台、310个烈度速报子台和13个强震动观测专用台阵, 建成了由一个国家强震动台网中心, 东南、西南、西北3个区域强震动台网中心以及北京、天津、昆明、乌鲁木齐、兰州5个大城市地震动强度(烈度)速报中心构成的中国强震动观测台网(周雍年, 2006)。在随后的“十一五”“十二五”期间, 各省(市)、自治区和地方政府又投资建设了一大批强震动观测台站, 台网规模不断扩大(吴华灯, 叶春明, 2011)。“十五”期间建成的强震动观测台网主要观测目的是获取近场强地面运动加速度记录, 为工程抗震、场地效应、地震动衰减等研究提供基础数据(徐钦等, 2019; 王文才等, 2019), 台网技术系统基于触发式事件记录, 兼具部分城市地震烈度速报功能(卢大伟, 李小军, 2010)。“十一五”“十二五”期间建成的强震动观测台站, 已经向地震动强度(烈度)速报、地震预警等应用领域拓展, 具备实时和触发式事件记录的功能。

但是我国建成的强震动观测台网, 长期缺乏一套具备数据汇集、监控及自动处理功能于一体

的强震动台网数据处理软件, 大部分省(市)、自治区地震局只能利用各厂商记录器配套的上位机软件, 手动收集、处理分布在辖区内的各个强震动台站的观测数据, 少数几个省局主自研发或使用了第三方开发的简易版台网管理软件, 半自动地实现了数据的收集和处理(刘琼仙等, 2008)。总体上强震动台网数据收集和处理以人工为主, 存在速度慢、效率低、工作负荷重等问题, 远远满足不了日常业务工作的需要, 满足不了政府、社会公众对强震发生时快速获知强震动关键参数的需求。立足强震动台网日常业务和不断拓宽的应用领域的需求, 在“十二五”期间, 上级主管部门大力推进强震动观测技术支撑系统的建设, 笔者负责开发了一套适用于“十五”“十一五”“十二五”期间强震动观测台站的具备强震动数据采集器接口集成、数据快速汇集、数据自动处理、状态准实时监控、仪器双向命令控制、日常业务图表生成等功能的“Collectors 强震动台网数据处理系统软件”。本文就该软件的整体设计思路、功能模块的实现及应用情况等方面展开介绍。

1 整体设计思路

为了更好地实现系统软件的各项功能及可跨

^{*} 收稿日期: 2019-07-15.

基金项目: 中国地震局地震科技星火计划攻关项目(XH17025)资助.

平台、大规模分布式部署,采用 JAVA SE (JAVA 开发工具包)、Eclipse Java EE IDE (JAVA 集成开发环境)、MySQL (数据库)、Navicat 和 MySQL Workbench (数据库管理工具) 等工具包搭建了软件开发及运行环境。软件采用模块化设计,各模块可独立运行,软件系统技术路线如图 1 所示,设计思路如下:

(1) 使用 Navicat 和 MySQL Workbench 设计出由 15 个数据表组成的底层数据库,包括台网信息表、台站信息表、设备信息表、仪器字典表、通

道方向极性表、仪器参数表、地震事件波形表、功能测试波形表、台站状态表、链路状态表、远程通讯检查表、台站连通及功能测试情况上报表、地震信息表、用户信息表(受篇幅所限,数据库设计另行文介绍)(Akkar *et al*, 2014)。系统软件在初始化时,将从系统配置表中读取相关配置信息,从台网信息表、台站信息表和设备信息表中提取台网、台站、设备等元数据信息,用于标识身份、匹配仪器接口、绘制台站位置、网络连接建立、属性信息提示。

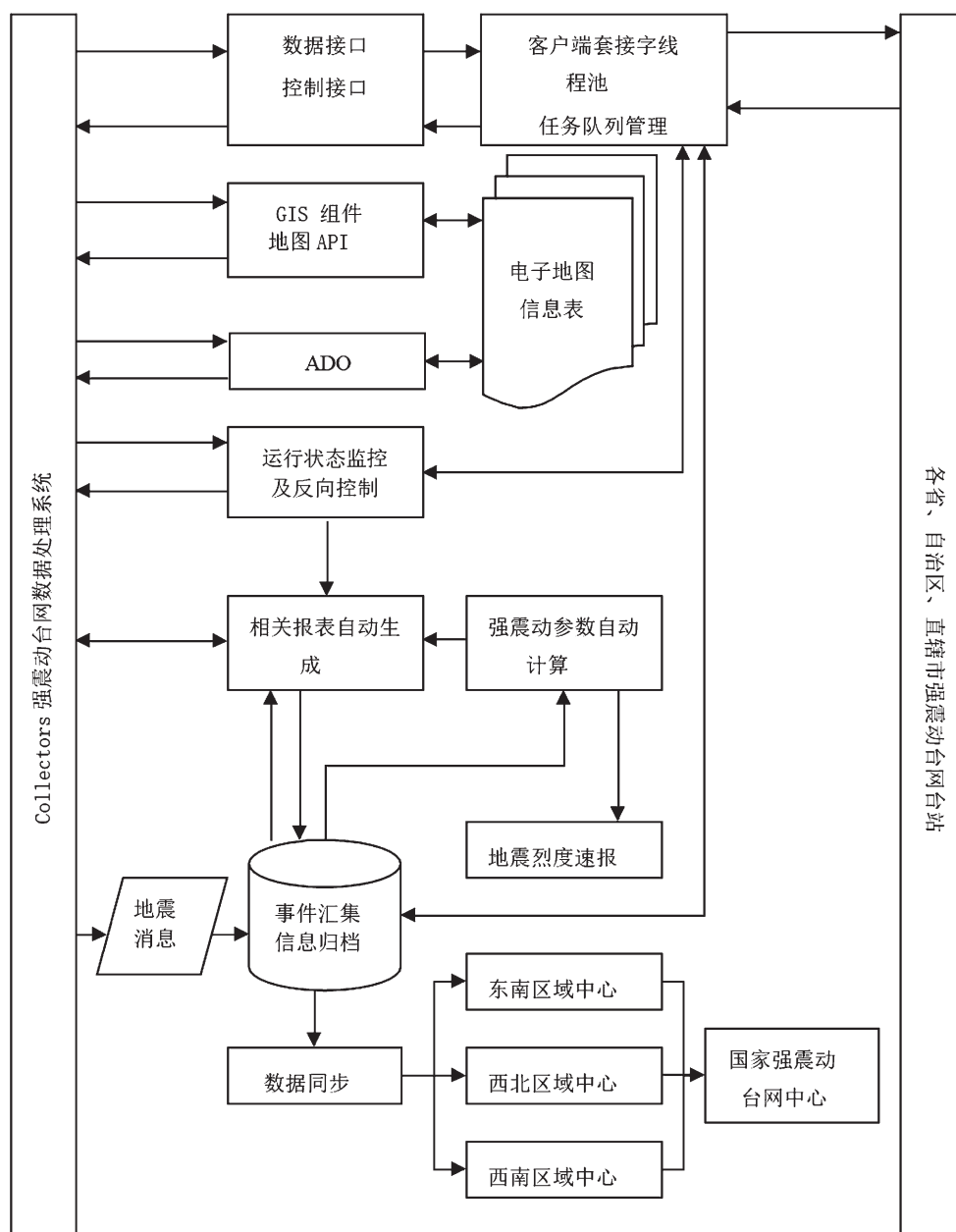


图 1 系统软件技术路线

Fig. 1 Technical route of the Collectors system software

(2) 用 Eclipse Java EE IDE 开发包括 ETNA, K2, GDQJ, MR - 2002, GSR - 18, GSMA - 2400IP, ETNA2, Basalt, MR - 3000, EDAS - 24IP, EDAS - 24GN, 130REN 和 TDE - CA 等强震动记录器的数据接口和通信控制接口, 集成到强震动台网数据处理系统上, 以客户端套接字的方式连接台站的设备, 实现地震事件数据的自动汇集; 实现台站运行状态的多指标、精细化的监控和设备的远程控制; 驱动存储机制实现有关报表信息的自动生成和运行率统计等。

(3) 在汇集地震事件时, 由解码模块解码三分向数据, 然后驱动强震动参数计算模块, 按照基线校正、计算主要频率、积分速度和位移时程、数字滤波、记录合成的数据处理流程计算 PGA, PGV, PGD, I_{PGA} 和 I_{PGV} 等强震动参数^①, 再经地震消息匹配出对应台站的台站信息、地震信息、记录处理结果信息, 生成强震动观测记录报告单和产出仪器烈度分布图件, 进行地震烈度速报。与此同时, 驱动数据同步模块, 通过数据库或基于文件传输协议的方式, 实现各省、自治区、直辖市强震动台网中心到各区域分中心, 再到国家强震动台网中心的分级数据同步。

2 功能模块的实现

“Collectors 强震动台网数据处理系统软件”是一套基于地震事件传输的强震动台网专业数据处理软件, 较好地满足了当前强震动观测台网的日常业务需求。具体功能包括了强震动记录器的接口适配、全网台站运行状态准实时监控、地震事件数据自动汇集、强震动事件参数 (PGA, PGV, PGD, I_{PGA} , I_{PGV} , 反应谱) 自动处理、设备远程控制、报表自动生成 (远程通讯检查表、强震动记录报告单、强震动记录分析结果表、强震动观测简报) 等, 以下分别介绍各核心功能模块的具体实现。

2.1 强震动记录器接口适配模块

“强震动记录器的接口适配模块”是“Collectors 强震动台网数据处理系统软件”的核心模块之一, 数据流、状态流和控制流的适配及流向由该模块驱动实现。由于强震动记录器的种类繁多, 不同类型的仪器有不同的命令集、不同的通信协

议和数据格式, 特别是基于事件传输的记录器 (吴华灯等, 2012), 要实现数据流、状态流和控制流的三流汇集及分发, 处理上比较复杂和繁琐, 因此该模块采用了任务队列管理和线程池的技术, 使复杂的问题简单化。具体操作为, 在该模块中, 定义了 ETNA, K2, GDQJ, MR - 2002, GSR - 18, GSMA - 2400IP, ETNA2, Basalt, MR - 3000, EDAS - 24IP, EDAS - 24GN, 130REN, TDE - CA 等型号设备及与之对应的任务类别和通信命令; 根据设备型号和特定的任务, 建立了相应的线程池; 最后, 以 DAO 作为入口, 从数据库中加载台站设备信息, 匹配设备型号, 建立通信连接池, 驱动获取事件数据、获取状态数据和通信控制等任务, 实现数据流、状态流和控制流的汇集及分发 (叶世山等, 2019)。程序设计的核心是, 创建一个任务包 task 实现接口适配, 包括 2 个枚举变量 DevType 和 TaskType, 3 个类 TaskBeanFactory、TaskManager 和 TaskExecutor; 设备型号 DevType 用于指定需要适配接口的强震动记录器类型, 任务类别 TaskType 定义接口适配时需要执行的诸如获取状态流、获取事件数据流、功能测试等任务; TaskBeanFactory 和 TaskExecutor 类的作用是获取要执行的任务, TaskManager 类用于建立线程、加载设备类型、执行队列中的任务。核心源代码如下:

```
public enum DevType {
    ETNA, K2, GDQJ, MR2002, GSR18, GS-
    MA2400IP, ETNA2, Basalt, MR3000,
    EDAS24IP, EDAS24GN, 130REN, TDE - CA
} /* 强震动记录器类型 */
public enum TaskType {
    STA, EVENT, CONTROL, FT
} /* 定义任务类型 */
public class TaskBeanFactory implements Application-
ContextAware {
    public TaskExecutor getTask (String devType,
    String taskName) {
        return (TaskExecutor);
    }
} /* 获取要执行的任务 */
public class TaskManager {
    protected TaskBeanFactory taskBeanFactory;
```

① 中国地震局. 2015. 仪器地震烈度计算暂行规程.

```

threads = Executors.newFixedThreadPool (thread
Num); /* 建立线程池 */
public void execute (TaskType type) {
    equipmentInfoDAO.loadEquipments (dev_
type, starIndex, pageSize);
} /* 加载指定的设备类型, 准备执行任务 */
private void todo (EquipmentInfo eq, TaskType
type) {
    TaskExecutor taskExecutor = taskBeanFac-
tory.getTask ();
    pool.getConnect (); /* 建立连接 */
    taskExecutor.execute (terminal, eq); /*
执行任务, 匹配设备类型, 调用接口 */
    pool.recycle (terminal); /* 资源回收 */
}
}

```

2.2 台站运行状态准实时监控模块

强震动台网监控平台是“Collectors 强震动台网数据处理系统软件”的一个重要组成部分, 具体由“台站运行状态准实时监控模块”实现。其主要功能是实现台站运行状态的多指标、精细化监控显示和设备的远程控制, 便于工作人员了解台网的整体运行情况和开展台网的日常运维管理工作。出于使用方便及技术更新的需要, 该模块摒弃了笔者早期基于 C/S 结构的强震动台网监控平台的设计思想 (叶春明等, 2011), 采用 MVC (Model View Controller, 一种软件设计模式) 框架重新进行了设计, 以求做到软件前后端分离, 易于分布式部署。

该模块在 MVC 框架下, 结合“强震动记录器的接口适配模块”和底层数据库, 基于电子地图实现前端展示和交互操作, 如图 2 所示。具体是以电子地图展示台站的位置分布和台站的关键信息, 并用黑、橙、红、绿 4 种颜色分别标示台站通信中断、通信告警、设备告警和正常工作 4 种状态。主控台的状态告示栏, 及时显示各种状态下台站的数量及告警的具体原因 (如链路告警、电池电压过低告警、磁盘空间告警、GPS 授时告警、零点电压告警等), 维护人员能针对已知的具体原因开展台站的维护工作。交互操作方面, 通过 DAO 及 API, 实现前端台站状态的多指标查询、台站信息查询、设备信息查询、台站触发参数查询、功能测试等远程操控。后端则按照

设定的任务, 周期性自动地完成每月 2 次的功能测试及远程通讯检查, 并把测试的结果写入远程通讯检查数据表。前端的所有操作, 通过图 2 的人机交互界面便能轻松完成。该模块的核心实现过程如下:

(1) 加载电子地图。在 html 页面中指定地图数据源, 并在 javascript 代码中创建地图实例, 通过 API 接口, 调用地图数据源, 实现地图的加载。

/* 在 html 页面中指定地图数据源 */

```

<script type = " text/javascript" src = " http: //
api. map. baidu. com/api? v = 2. 0&ak = NU. . " >
</script >

```

/* 在 javascript 代码中创建地图实例 */

```

map = new BMap. Map (" map");

```

(2) 展示台站信息及状态。通过前端的接口类 MapDao 和 javascript 代码中的 getTitle, getMsg 和 statusInfo 方法, 在地图上实现台站信息提示及设备状态的准实时告警, 代码如下:

/* 用 javascript 代码实现台站信息提示 */

```

function getTitle (eq) {
    return eq. sta_ code + " " + eq. sta_ cname + "
[" + eq. recorder_ model + "]" (经度:" + eq. lon
+ ", 纬度:" + eq. lat + ") IP/port:" + eq. ip + " : "
+ eq. port + " "
    + getMsg (eq, eq. status)
}

```

/* 用 javascript 代码展示设备状态告警信息 */

```

function statusInfo (status) {
    var title = "";
    var img = "";
    if (status == 1) {
        title = " 通信中断";
        img = " &#xe620;";
    } else if (status == 2) {
        title = " 通信告警";
        img = " &#xe61d;";
    } else if (status == 3) {
        title = " 告警";
        img = " &#xe622;";
    } else if (status == 0) {
        title = " 正常";
        img = " &#xe61f;";
    }
}

```



```

    }
    for (var i=0; i<length; i++) {
        html += '<li>'
        html += '<span>' + getMsg
        html += '<a href=" javascript:;" class
        = " ellipsis" ><span>'
        + datas [i]. sta_ code + '</span>' + getMsg
        (datas [i], status) + '<i></i>' + '</a>'
        html += '<label>' + new
        Date ( datas [i]. lastUpdateTime * 1000 )
        . toLocaleTimeString () + " </label>"
        html += '</li>'
    }
    .....
}

```

(3) 人机交互。通过前端的 html 页面、InfoD-AO 接口类、InfoMapper 类和后端的 API 相结合, 实现从监控平台的电子地图上控制设备。

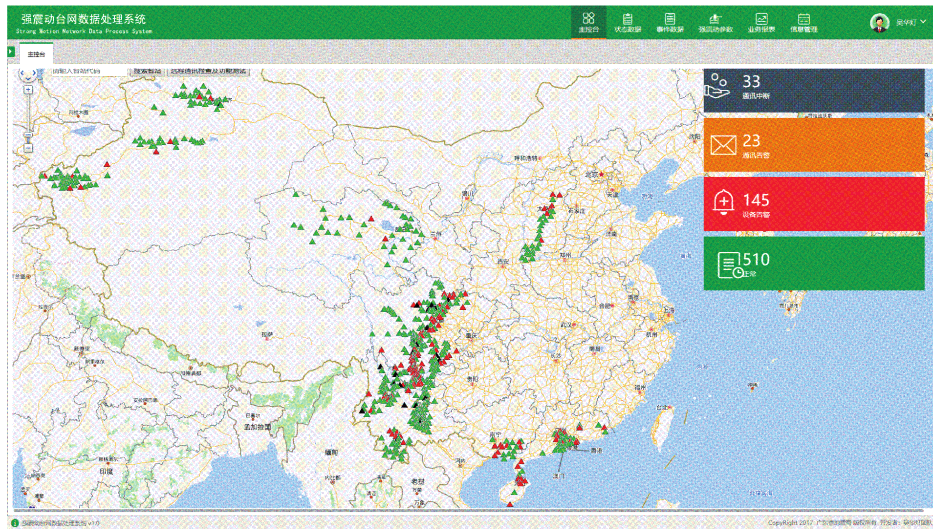


图2 Collectors 强震动台网监控平台

Fig. 2 Collectors monitoring platform for strong motion observation network

2.3 事件数据自动汇集模块

事件数据自动快速汇集是进行地震烈度速报的先决条件。在业务逻辑层, 该模块依托“强震动记录器的接口模块”, 联合“强震动事件参数自动处理模块”, 解码并计算出入库的参数, 按照数据库和文件存储方式 (Ancheta *et al*, 2014), 实现对各个台站的事件数据流归档存储。存储的内容包括地震事件 ID、台站事件名、台网代码、台站代码、台站名称、采样率、采样点个数、记录长度、记录开始时间、记录结束时间、三通道的 PGA 和 PGV、仪器烈度、事件类型、提交时间、操作者等, 存储的结果信息, 如图 3 所示。存储过程的核心程序如下:

```

WaveformEvent w = new WaveformEvent ();
w.setEvent _ id ( String.valueOf ( TimeUtil.date2
YMDHMS (sDate))); /* 置地震事件 ID */
w.setSta_ Event_ name ( eq.getSta_ code () +
w.getEvent_ id ()); /* 置台站事件名 */

```

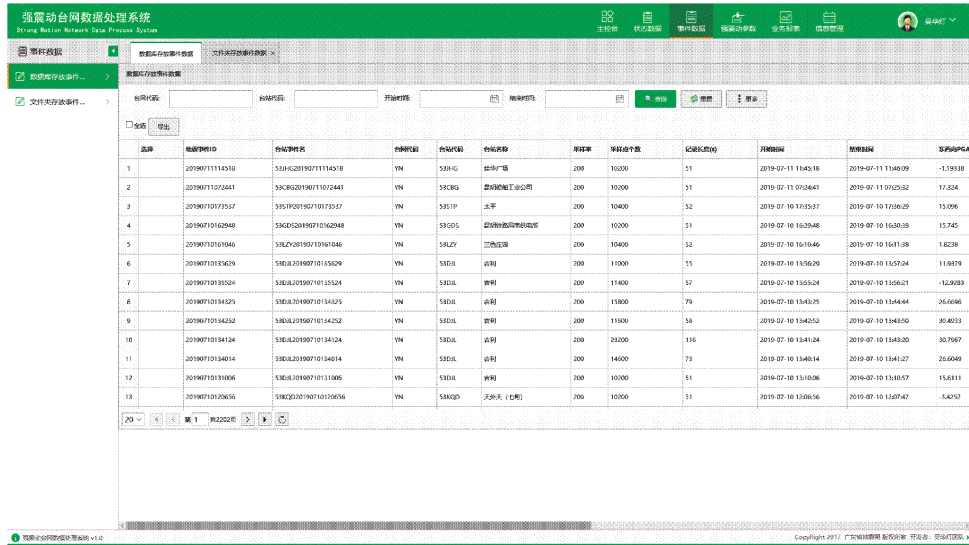
```

w.setNet_ code ( eq.getNet_ code ()); /* 置台
网代码 */
w.setSta_ code ( eq.getSta_ code ()); /* 置台站
代码 */
w.setNsamples ( ( int ) event.getFileHead ( )
.getRoParams ( ) .getStream ( ) .getNscans
()); /* 置采样点个数 */
w.setSamp _ rate ( event.getFileHead ( )
.getRwParams ( ) .getStream ( ) .getSps ()); /*
置采样率 */
w.setStart_ time (sDate); /* 置记录开始时间 */
w.setEnd_ time (eDate); /* 置记录结束时间 */
w.setRec_ lenh ( (int) duration); /* 置记录长度
*/
w.setEW_ PGA ( (float) result.getEwPGA ()); /*
置东西向 PGA */
w.setNS_ PGA ( (float) result.getNsPGA ()); /*
置北南向 PGA */

```

```
w.setUD_ PGA ( (float) result.getUdPGA ()); /* 置垂直向 PGA */
w.setEW_ PGV ( (float) result.getEwPGV ()); /* 置东西向 PGV */
w.setNS_ PGV ( (float) result.getNsPGV ()); /* 置北南向 PGV */
w.setUD_ PGV ( (float) result.getUdPGV ()); /* 置垂直向 PGV */
w.setIntensity ( (float) result.getIntensity ()); /* 置烈度 */
```

```
/* 置提交时间 */
w.setSub_ time (new Date ()); /* 置提交时间 */
w.setOperator ( " sys"); /* 置操作者, 缺省为 sys */
w.setFlag ( event.getFlags ()); /* 置事件类型 */
w.setWaveform ( event.getBs ()); /* 存储波形文件 */
```



站号	地震事件名	地理位置	震级	震级类型	震级范围	震级精度	记录长度(s)	开始时间	结束时间	仪器PGA
1	20190711114518	53H62019071114518	YN	53H6	云南	200	10200	2019-07-11 11:45:18	2019-07-11 11:45:18	-1.99338
2	20190711072441	53H620190711072441	YN	53H6	云南	200	10200	2019-07-11 07:24:41	2019-07-11 07:25:52	17.324
3	20190710172557	53H620190710172557	YN	53H6	云南	200	10200	2019-07-10 17:25:57	2019-07-10 17:26:29	15.056
4	20190710162948	53H620190710162948	YN	53H6	云南	200	10200	2019-07-10 16:29:48	2019-07-10 16:30:39	15.745
5	20190710161946	53H620190710161946	YN	53H6	云南	200	10200	2019-07-10 16:19:46	2019-07-10 16:21:38	1.8228
6	20190710135629	53H620190710135629	YN	53H6	云南	200	11000	2019-07-10 13:56:29	2019-07-10 13:57:04	11.8878
7	20190710135524	53H620190710135524	YN	53H6	云南	200	11800	2019-07-10 13:55:24	2019-07-10 13:56:01	12.9083
8	20190710134325	53H620190710134325	YN	53H6	云南	200	11800	2019-07-10 13:43:25	2019-07-10 13:44:44	26.6066
9	20190710134252	53H620190710134252	YN	53H6	云南	200	11800	2019-07-10 13:42:52	2019-07-10 13:43:50	30.4033
10	20190710134124	53H620190710134124	YN	53H6	云南	200	21200	2019-07-10 13:41:24	2019-07-10 13:43:20	30.7667
11	20190710134014	53H620190710134014	YN	53H6	云南	200	14000	2019-07-10 13:40:14	2019-07-10 13:41:27	26.6049
12	20190710131006	53H620190710131006	YN	53H6	云南	200	10200	2019-07-10 13:10:06	2019-07-10 13:10:57	15.6111
13	20190710123635	53H620190710123635	YN	53H6	云南	200	10200	2019-07-10 12:36:35	2019-07-10 12:37:47	5.4552

图3 事件数据展示页
Fig. 3 Display page of event data

2.4 强震动事件参数自动处理模块

当“强震动记录器的接口模块”驱动事件数据流接收任务时,直接解码三分向数据,并根据通道位置和极性确定正确的三分向数据。然后按照事件前 20 s 的样本对三分向数据进行基线校正,积分出速度和位移时程,结合仪器参数进行单位换算后,求取峰值加速度 PGA、峰值速度 PGV 和峰值位移 PGD。最后,按照“〔2015〕18 号《仪器地震烈度计算暂行规程》”的烈度算法^①(金星等,2013),计算仪器地震烈度 I。“强震动事件参数自动处理模块”实现了强震动参数的自动计算和存储入库,为强震动记录报告单、强震动记录分析结果、强震动观测简报、峰值加速度、峰值速度和仪器烈度等报表及分布图件的生成提供了可调用的结果数据(Worden, Wald, ORDEN2010),如图 4 所示。该模块的核心实现过程如下:

(1) 解码三分向数据,从数据库中匹配通道位置和极性,确定正确的三分向数据。

(2) 取事件前 20 s 的样本均值进行零线校正,用线性加速度法积分出速度和位移时程,求 PGA, PGV 值。即在程序中,按照下面的式(1)和(2),在 $t=0$ 时,取 $V_i=0$, $D_i=0$,逐次计算出速度和位移时程,并分别取其最大值,最后合成三分向的 PGA 和 PGV,具体算式如下:

$$V_{t+\Delta t} = V_t + (A_t + A_{t+\Delta t}) \frac{\Delta t}{2} \quad (1)$$

$$D_{t+\Delta t} = D_t + V_t \Delta t + \left(\frac{A_t}{3} + \frac{A_{t+\Delta t}}{6} \right) (\Delta t)^2 \quad (2)$$

式中: V 为速度值; A 为加速度值; D 为位移值; Δt 为一个采样点的时间间隔; t 为某个采样点的时间。

(3) 计算由峰值加速度得到的仪器烈度 I_{PGA} 或

^① 中国地震局. 2015. 仪器地震烈度计算暂行规程.

由峰值速度得到的 I_{PGV} :

$$I_{PGA} = 3.20 \lg(PGA) + 6.59 \quad (3)$$

$$I_{PGV} = 2.96 \lg(PGV) + 9.78 \quad (4)$$

当 I_{PGA} 和 I_{PGV} 均大于等于 6.0 时, 则仪器地震

烈度 I 取 I_{PGV} , 如式 (5) 所示; 否则取 I_{PGA} 和 I_{PGV} 的算术平均值, 如式 (6) 所示:

$$I = I_{PGV} \quad (I_{PGV} \geq 6.0 \text{ 且 } I_{PGA} \geq 6.0) \quad (5)$$

$$I = (I_{PGV} + I_{PGA})/2 \quad (I_{PGV} < 6.0 \text{ 且 } I_{PGA} < 6.0) \quad (6)$$

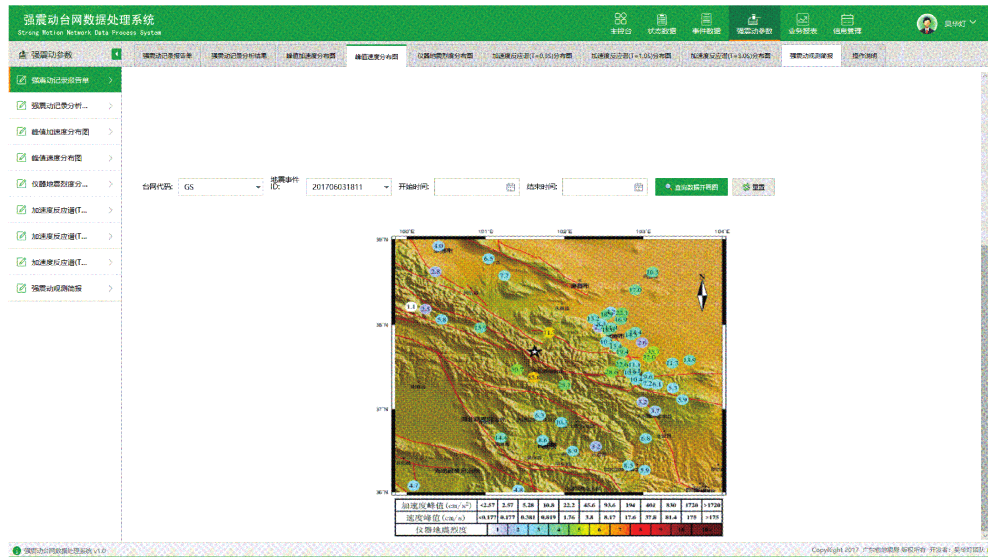


图 4 强震动参数展示页

Fig. 4 Display page of strong motion parameters

2.5 强震动台网交互分析数据处理模块

为方便强震动台网工作人员交互分析、校核强震动事件参数及提交事件入库, 该系统软件还专门设计了桌面版的“强震动台网交互分析数据处理模块”, 如图 5 所示。该模块的开发, 力求

界面简洁、友好、易用、通用, 除沿用“强震动事件参数自动处理模块”的大部分功能外, 还扩充了部分常用的功能。具体包括基线校正、仿真速度、仿真位移、反应谱计算、仪器烈度计算、傅立叶谱计算、功率谱计算、自相关系数计算、

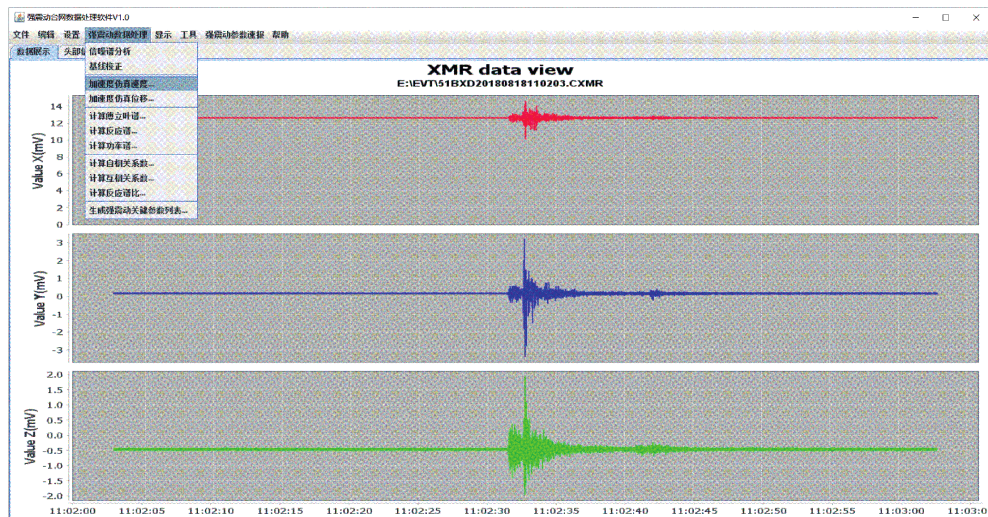


图 5 强震动台网交互分析数据处理软件

Fig. 5 Data processing software of mutual analysis for strong motion network

波形显示、反应谱曲线显、傅立叶谱曲线显示和功率谱曲线显示、ASCII 格式, MiniSEED 格式和 SEED 格式转换、事件文件及结果参数入库等。该模块用 Java SE 8 实现上述数据处理方法, 用 JFreeChart 和 JCommon 类库来实现波形及其他曲线的绘制及显示。本模块的具体实现所占篇幅较大, 将另外行文介绍。

2.6 报表自动生成模块

因日常业务的需要, 根据《强震动台网运行维护与管理细则》的规定, 该模块设计了远程通讯检查报表、远程通讯及功能测试结果上报表的自动生成模板。按照选定的某个台网或某个台站的条件, 由相应的模板批量自动生成指定时间内的报表, 取代传统手工填报的方式, 减轻了台网工作人员的劳动强度。“台站运行状态准实时监控模块”为远程通讯检查报表、远程通讯及功能测试结果上报表提供了必要的结果信息, “报表自动生成模块”仅仅需要通过 DAO, 从底层数据库的远程通讯检查数据表中提取信息, 生成相应的报表。

3 实际应用

在可跨平台部署的新版本强震动台网数据处理系统推出之前, 由笔者开发的基于 C/S 结构的旧版本软件已经在全国 20 多个省、自治区、直辖市地震局推广应用, 取得了一定的效果。以地震多发区为重点服务对象, 新版本“Collectors 强震动台网数据处理系统”于 2017 年 6 月在云南省地震局优先升级部署, 随后陆续对四川省地震局、新疆维吾尔自治区地震局、青海省地震局等 10 多家单位的系统软件进行了更新。截至 2019 年 6 月 30 日, 新版本系统软件 7 × 24 h 连续、稳定、可靠、高效地运行了 2 年整, 共记录到仪器状态数据

36 441 002 条, 记录天然地震事件、功能测试事件和误触发事件共计 1 118 669 组。系统软件全流程自动化处理, 除自动完成日常的智能化监控和常规标定外, 在处置地震事件时, 一般能在 2 ~ 10 min 内陆续完成地震事件的自动回收和强震动参数的自动产出, 速报能力由软件推广前的小时级别跃升到分钟级别, 较大程度提高了地震事件汇集与处理的速度。

以地震频度高、强度大的云南、四川、新疆 3 个省份的统计为例, 在云南省地震局的软件系统中, 入库的仪器状态记录 13 690 804 条, 事件记录 78 890 组 (含天然地震事件、功能测试事件和误触发事件), 事件记录自动回收的平均用时为震后 5 分 49 秒, 最快的回收时间为震后 1 分 28 秒, 详见表 1。自 2017 年 6 月至 2019 年 6 月, 云南辖区内记录的 3 次 5.0 级以上地震中, 剔除网络不稳定及设备故障等因素的影响, 震后 7 分钟内, 地震事件便能陆续自动完成入库并自动产出 PGA, PGV, I_{PGA} 和 I_{PGV} 等强震动参数结果。其中最短用时是震后 1 分 30 秒, 最长用时为震后 5 分 38 秒, 最大仪器地震烈度为高大台记录的 6.3 度, 详见表 2。四川省地震局入库的仪器状态记录 10 431 910 条, 事件记录 860 336 组, 全部事件记录自动回收的平均用时为 7 分 38 秒, 最快的回收时间为 1 分 18 秒。四川省地震局事件记录回收的平均用时超出 5 min, 主要受台站的网络环境、MR-2002 仪器设备的事件存储参数设置及 MR-2002 仪器设备老化等影响所致。自 2017 年 8 月 7 日至 2019 年 6 月 17 日, 四川辖区内记录的 5 次 5.0 级以上地震中, 地震事件记录回收及强震动参数产出最短用时为震后 1 分 18 秒, 最长用时为震后 8 分 54 秒, 记录得的最大仪器地震烈度为珙县中学的 8.2 度, 详见表 2。新疆维吾尔自治区地震局入库的仪器状态记录 5 784 696 条, 事件记录 26 317 组, 事件记录自动回收的

表 1 数据汇集情况统计
Tab. 1 Statistics of data collection

省份	仪器状态记录 数量/条	事件记录 数量/组	事件回收 平均用时	事件回收 最短用时	仪器烈度产出 最短/最长用时	最大仪器 地震烈度
云南	13 690 804	78 890	5 分 49 秒	1 分 28 秒	震后 3/6 min 内	6.3
四川	10 431 910	860 336	7 分 38 秒	1 分 18 秒	震后 6/9 min 内	8.2
新疆	5 784 696	26 317	4 分 15 秒	1 分 09 秒	震后 4/5 min 内	6.0

平均用时为 4 分 15 秒, 最快的回收时间为 1 分 09 秒。新版系统软件更新以来, 新疆辖区内记录的 4 次 5.0 级以上地震中, 地震事件记录回收及强震动

参数产出最短用时为震后 2 分 40 秒, 最长用时为震后 4 分 56 秒, 录得的最大仪器地震烈度为卧里托乎拉格台的 6.0 度, 具体数据见表 2。

表 2 地震事件记录回收及强震动参数产出用时

Tab. 2 Time - consuming of record recycling and output of strong motion parameters

省份	发震时间	震中及震级	地震事件 记录/组	事件回收 平均用时	事件回收最短/最长 用时	仪器烈度 产出用时	最大仪器 地震烈度
云南	2018-08-13 01:44:24	云南玉溪市通海县 5.0 级	42	4 分 12 秒	1 分 51 秒/5 分 17 秒	震后 6 min 内	高大台 6.3
	2018-08-14 03:50:36	云南玉溪市通海县 5.0 级	31	4 分 05 秒	1 分 34 秒/5 分 38 秒	震后 6 min 内	雄关台 6.1
	2018-09-08 10:31:29	云南普洱市墨江县 5.9 级	38	2 分 30 秒	1 分 30 秒/2 分 54 秒	震后 3 min 内	勐先台 5.1
四川	2017-08-08 21:19:46	四川阿坝州九寨沟县 7.0 级	19	6 分 17 秒	3 分 41 秒/7 分 06 秒	震后 7 min 内	九寨百河 6.2
	2017-09-30 14:14:37	四川广元市青川县 5.4 级	34	5 分 12 秒	1 分 46 秒/6 分 28 秒	震后 7 min 内	平武南坝 5.4
	2018-10-31 16:29:55	四川凉山州西昌市 5.1 级	47	7 分 17 秒	6 分 03 秒/8 分 54 秒	震后 9 min 内	冕宁泸沽 4.8
	2018-12-16 12:46:07	四川宜宾市兴文县 5.7 级	21	3 分 25 秒	2 分 18 秒/5 分 02 秒	震后 6 min 内	峨眉交大 3.0
	2019-06-17 22:55:43	四川宜宾市长宁县 6.0 级	63	5 分 11 秒	1 分 18 秒/5 分 42 秒	震后 6 min 内	珙县中学 8.2
新疆	2018-09-04 05:52:56	新疆喀什地区伽师县 5.5 级	35	3 分 29 秒	2 分 53 秒/4 分 53 秒	震后 5 min 内	卧里托乎拉格 6.0
	2018-10-16 10:10:12	新疆博尔塔拉州精河县 5.4 级	15	3 分 56 秒	3 分 16 秒/4 分 27 秒	震后 5 min 内	129 团 3.2
	2018-11-04 05:36:19	新疆克孜勒苏州阿图什市 5.1 级	25	4 分 58 秒	3 分 31 秒/4 分 56 秒	震后 5 min 内	西克尔 5.7
	2018-12-20 19:08:08	新疆克孜勒苏州阿克陶县 5.2 级	18	3 分 12 秒	2 分 40 秒/3 分 39 秒	震后 4 min 内	波斯坦铁列克 2.8

4 结论和讨论

“Collectors 强震动台网数据处理系统软件”在全国推广应用以来, 已经接入了近千个强震动台站的观测数据, 解决了中国强震动观测台网数据汇集、监控、自动处理及日常业务处理等方面的迫切需求。系统软件全流程自动化处理, 其所具备的多指标、精细化的台站状态监控及强震动参数分钟级别产出等能力, 使得其在日常的台网运行维护管理和地震应急工作上, 发挥了实效, 用户满意度较高。同时, 也存在一些值得探讨的问题:

(1) 在“Collectors 强震动台网数据处理系统软件”推广之际, 上层业务体制发生了重大改革, 一定程度上影响了该系统软件可持续的升级开发。如强震动参数产出方面, 图形及图表的多样性展示是否继续投入力度; 新的强震动数据采集器的接口是否还接入系统; 前期基于相关管理规定定义的报表模板是否沿用, 等等。而这些功能, 恰

恰是用户最迫切需要的, 也是影响系统软件生命周期的关键所在。

(2) 该系统软件的升级开发虽然受到业务体制改革的影响, 但笔者认为, 该系统软件无论是对于地震动衰减规律统计、场地土层反应研究、结构抗震性能分析、地震危险性分析或地震区划的数据收集方面, 还是在地震烈度速报、震害快速评估等应用领域依然能发挥较大的作用。因此, 该系统软件应借助数据自动汇集的优势, 循序渐进地构建相应的自动处理算法模型, 继续完善和拓展新功能, 开展相关的应用研发。

本文及有关研究得到了中国地震局强震动观测学科组各位专家的指导以及国家强震动台网中心、云南、四川、新疆等地震局同事们的帮助和支持, 在此一并致谢。

参考文献:

金星, 张红才, 李军, 等. 2013. 地震仪器烈度标准初步研究[J]. 地球物理学进展, 28(5): 2336-2351.

- 刘琼仙,周兰江,崔建文,等. 2008. 云南数字强震动台网监控系统的设计与实现[J]. 地震研究,31(3):274-278.
- 卢大伟,李小军. 2010. 中国大陆强震动观测发展研究[J]. 国际地震动态,(10):35-42.
- 王文才,尹志文,田秀丰,等. 2019. 2018年云南通海2次5.0级地震强震动记录特征及其场地反应分析[J]. 地震研究,42(4):635-641.
- 吴华灯,叶春明,郭德顺. 2012. 常用强震数据采集器文件传输协议分析[J]. 地震地磁观测与研究,33(5):335-341.
- 吴华灯,叶春明. 2011. TDE-324CI数据采集器强震实时数据流格式及解码过程浅析[J]. 防灾科技学院学报,13(4):61-66.
- 徐钦,陈琳荣,张宇,等. 2019. 吉林松原 $M_s5.7$ 地震强震记录特征分析[J]. 地震研究,42(4):627-634.
- 叶春明,吴华灯,郭德顺. 2011. 基于网络的强震动台网监控平台的设计与实现[J]. 地震工程与工程振动,31(5):8-12.
- 周雍年. 2006. 中国大陆的强震动观测[J]. 国际地震动态,(11):1-6.
- 叶世山,吴华灯,黄晖,等. 2019. 基于3G/4G网络的工业无线路由器在强震动台站数据传输上的应用[J]. 华南地震,39(S1):33-37.
- Akkar S, Sandikaya M A, Senyurt M, *et al.* 2014. Reference database for seismic ground-motion in Europe (RESORCE) [J]. Bulletin of Earthquake Engineering, 12(1):311-339.
- Ancheta T D, Darragh R B, Stewart J P, *et al.* NGA-West 2 database [J]. Earthquake Spectra, 2014, 30(3):989-1005.
- Worden C B, Wald D J. 2010. A revised ground-motion and intensity interpolation scheme for shakemap [J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 100(6):3083-3096.

Design and Implementation of Collectors Data Processing System for Strong Motion Network

WU Huadeng^{1,3}, LU Dawei², LIAO Yifan¹, DING Lisha¹, YE Shishan¹, LAO qian¹, CHEN Jiantao¹, HUANG Hui¹, ZHAO Xianren¹, WANG Liwei¹, LU Zijin¹, LYU Zhonghang¹

(1. Guangdong earthquake agency, Guangzhou 510070, Guangdong, China)

(2. Institute of Geophysics China Earthquake Administration, Beijing 100081, China)

(3. Key Laboratory of Earthquake Monitoring and Disaster Mitigation Technology, Guangzhou 510070, Guangdong, China)

Abstract

“Collectors Strong Motion Network Data Processing System” is a modular, cross-platform, distributed deployment software for strong motion data processing based on the Java EE technology. This paper describes the overall design ideas and detailed realization of function modules in this software, and statistical analyses on data collection and archiving of nearly one thousand real-time strong-motion stations in the past two years, for earthquakes with magnitude five or greater in Yunnan, Sichuan and Xinjiang province, special analysis was made on event waveform data retrieval rate and the time spent on automatic output of strong motion parameters. The test results indicate that this software can run continuously, stably, reliably and efficiently at 24/7 automatic operations. Waveforms and strong motion parameters associated with seismic events can be automatically processed within 2 to 10 minutes after the occurrence of an earthquake, which present a significant step towards reducing the earthquake rapid reporting time from hour level to minute level duration.

Keywords: strong motion observation; seismic station network; data interface; status monitoring; data processing; strong motion parameters