

方伟华, 周蓝捷, 闫培, 李文惠, 汪豪, 2018. 地震数据处理系统 Earthworm 在福建地震预警系统项目中的应用. 震灾防御技术, 13 (1): 226—236. doi: 10.11899/zzyfy20180121

地震数据处理系统 Earthworm 在福建 地震预警系统项目中的应用¹

方伟华 周蓝捷 闫培 李文惠 汪豪

(厦门地震勘测研究中心, 厦门 361021)

摘要 本文介绍了 USGS (美国地质勘探局) 开发的 Earthworm 系统在福建地震预警系统项目中的应用。该系统为开源软件, 由 C 语言编写, 由不同模块组建而成, 每个模块实现不同的功能, 主要包括数据接收模块、P 波拾取模块、地震定位报告产出模块、地震事件图件绘制模块、地震波存储容器等。同时, 用户可以根据自己的需求编写相应的功能模块。文章对该系统的应用进行了介绍, 内容包括 Earthworm 系统的组织架构、业务流程、软件模块的主要功能搭建与配置及软件模块之间的逻辑关系等, 目的在于介绍该系统的架构方法与使用心得, 促进该系统在地震行业内得到应用与推广。

关键词: Earthworm USGS 简易烈度计 数据处理系统

引言

福建省地震预警项目简易烈度计台网系统用于评估地震对乡镇的影响, 每个乡镇布置一个测站, 按平均台间距 10km 左右设置, 单台定位精度平均小于 5km, 最大不超过 8km, 运行维护率 $\geq 90\%$ 。目前福建省地震预警系统的总体规划分两期实施: 一期在地震活动性较强或者地震影响较大的地区, 选择人口较多和经济发达区域进行设备安装; 二期在建设地区, 如闽西与闽北农村山区等地稀疏布点。地震台网数据处理系统主要采用 Earthworm 进行搭建, 拟在全省布设 900 台简易烈度计。该数据处理系统由 C 语言编写, 由不同模块组建而成, 每个模块实现不同的功能。该系统自从 2015 年 6 月正式运行以来, 能够正常接收各地震台站的实时波形数据, 从而实现地震台网中心地震速报、数据产出、数据管理等各项功能 (王喆, 2006)。

本文介绍了由美国地质勘探局开发的 Earthworm 系统的设计目标、思想和原则, 重点介绍了 Earthworm 框架结构与各模块功能的搭建与配置、Earthworm 系统的架构特点、主要工作原理和数据处理流程, 以及其应用于福建省地震预警项目的相关情况 (吴永权等, 2010)。

1 Earthworm 简介

Earthworm 项目始于 1993 年, 主要目的是为了解决美国地震区域台网出现的问题。当

1 基金项目 福建省简易烈度计项目 (项目编号: 2015DZLDY004)

[收稿日期] 2017-07-05

[作者简介] 方伟华, 男, 生于 1982 年。工程师。主要从事地震业务系统运维工作。E-mail: 258279496@qq.com

时，区域内的地震台网存在的主要问题有：观测设备陈旧，自动处理系统老化，维修费用逐年增长；仪器性能落后，地震研究的发展需要从精密传感器中获取研究数据；社会公众需要新的、显而易见的实时产品了解详情；最后，经费不足导致大多数台网不再支持区域系统的发展工作。

为了更好地解决服务器老旧与新地震观测仪器相结合的问题，Earthworm 项目应运而生。

1.1 Earthworm 的特点

Earthworm 系统是以避免早期地震处理系统的设计缺陷，保证地震预警的顺利实施为目标而建设的。系统具有以下 5 个方面的优点：

(1) 模块化：在硬件以及软件方面，系统把所执行的每一个函数封装成一个模块，该模块能独立于其他模块运行。模块化使得系统内的任何一个关键性模块能与系统内的其他模块保持独立。因此，新的试验性需求模块可以在不破坏现有系统的基础上添加并保证良好的性能。

(2) 系统独立性：由于不同的模块可独立运行在不同的计算机硬件和操作系统中，并作为一个系统运转，因此该系统可以无中断、在任意操作系统的计算机之间移植。在实际运用中，只使用各种计算机系统标准化的部分，而不使用任何无法规避的系统特殊功能。

(3) 可扩展性：该系统提供较好的性价比以适应各种类型层次的网络需求。同时，用户可定制个性的需求，编写新的模块运行。

(4) 连通性：该系统能够实现与其它自动实时系统、互动分析系统以及各种发布方式之间快速可靠地通信。其目标是在各层次提供自动和交互式的接口，使系统的配置范围可以从完全单机独立操作到分布式系统单个节点的运行。

(5) 鲁棒性：在地震危机时刻，由于输入数据和电源可能中断、系统负荷急剧增加，只有高鲁棒性的地震报警系统才能向媒体和应急机构提供实时准确信息。该系统针对地震处理数据的错误检测及恢复、恢复时间、故障弱化和负荷控制等问题具有极好的可靠性（马强，2008）。

1.2 Earthworm 框架的特点

Earthworm 系统中每个模块都执行特定的任务，如数据采集，震相拾取等。模块之间通过广播和监听（如波形数据包和相位拾取等）各种消息来通信。消息传递类似于无线电通讯：它由用于传递消息的“传输媒介”和一套标准模块程序组成。这些模块程序类似于运行在传输媒介中的多频率双向无线电设备。在传输媒介上模块可以使用这些标准程序广播并监听。

2 Earthworm 地震数据处理系统的架构与功能模块

福建省简易烈度台网设备一期规模为 300 台左右，通过中国电信的 MPLS VPN 组网方式将数据传输至厦门地震勘测研究中心与福建省地震局。每个观测台站提供 2M SDH 链路带宽供烈度计上报数据使用，省局与厦门地震勘测研究中心分别采用一条 10M 光纤汇聚专线接入中国电信 VPN 平台，用于收集各观测台站数据。对于部分未铺设 SDH 链路的区域，采用 3G 信号进行辅助接入 Earthworm 的地震预警软件框架系统。

基于 Earthworm 地震数据处理系统的架构采用积木式组合的方式进行搭建（图 1），主要包括：

第 1 部分，数据接收，通过 MPLS VPN 组网方式将各台网观测的烈度计产生的数据在数

据中心进行汇聚，主要采用 Palert2ew 模块进行功能搭建；

第 2 部分，地震波形展示，主要采用 wave_server 模块进行功能搭建；

第 3 部分，地震数据处理，主要采用 pick_eww、tcpd、ShakeMap 的模块进行功能搭建，pick_eww 模块负责自动震相拾取功能，tcpd 模块负责地震定位与震级计算功能，ShakeMap 模块负责烈度图绘制功能；

第 4 部分，地震数据存储，主要采用 Tbuf2mseed、Ewmseed Archiver 的模块进行功能搭建，Tbuf2mseed 模块负责进行数据格式转换功能，Ewmseed Archiver 模块负责进行数据文件存档的功能。

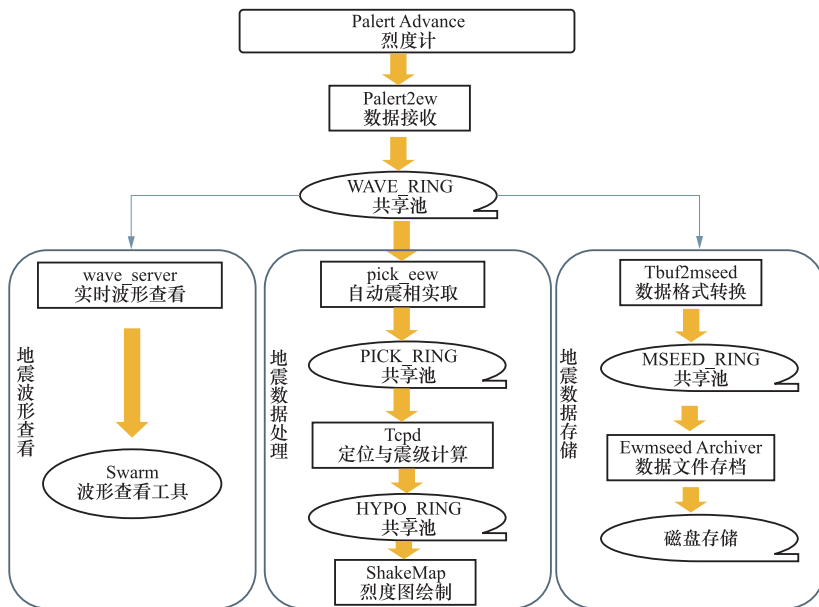


图 1 基于 Earthworm 数据处理系统架构流程图

Fig. 1 Processing flow-chart of the Earthworm-based data system

3 Earthworm 的安装步骤与配置

3.1 Earthworm 源码包的获取

可以通过网址 <http://folkworm.ceri.memphis.edu/ew-doc/#overview> 下载最新的 Earthworm 安装源码包进行安装。目前福建省烈度计系统采用的最新版已更新为 v7.9 版，版本之间的主要区别在于系统模块功能的差异（Earthworm 官方网址，2015）。

3.2 Earthworm 源码包目录结构说明

Earthworm 源码包目录结构主要有 bin, environment, ewdoc, include, include_app, params, src, lib 等，下面分别对该源码目录功能进行解释：

- (1) bin 目录为系统可执行程序存放位置；
- (2) environment 目录为系统环境变量存放位置；
- (3) include 目录为系统文件存放位置；
- (4) include_app 目录为系统程序应用存放位置；
- (5) params 目录为各程序参数配置文件存放位置；

- (6) src 目录为软件源码存放位置，可单独重新编译；
- (7) lib 目录为程序执行所依赖库文件存放位置。

3.3 Earthworm 的安装与调试

(1) 安装 Earthworm 前的环境准备

在安装 Earthworm 前，系统需要先安装 make、gcc、java 这 3 个软件，用于对 Earthworm 的程序包进行编译，3 个软件的安装均可以通过 yum 源进行安装，命令如下：

```
yum install -y make&& yum install -y gcc&& yum install -y java
```

(2) 创建安装目录结构

当前系统采用的是 CentOS 7，64 位操作系统进行搭建，我们在根目录下创建一级目录 xmzk，然后再创建二级目录 earthworm，earthworm 目录下分别创建 run 目录与 earthworm_7.9 源码包，然后在 run 目录下分别创建 params 目录与 logs 目录，目录结构如下所示：

```
/xmzk
    /earthworm
        /run
            /params(各程序参数配置位置)
            /logs(各程序日志文件存放位置)
            /data(各台站接收数据存放位置)
            /earthworm_v7.9(源码包)
```

(3) 拷贝全局参数与环境变量至安装目录

将/xmzk/earthworm/earthworm_v7.9/environment 目录中的 earthworm_global.d、earthworm.d、ew_linux.bash 这 3 个文件拷贝至/xmzk/earthworm/run/params 中。

(4) 修改安装环境配置文件

安装 Earthworm 需要变更第二步拷贝至/xmzk/earthworm/run/params 中的 ew_linux.bash 这个环境配置文件中几处环境变量的值，以适应我们自己的安装环境与配置需求，主要有以下 6 处需要变更：

- ①export EW_HOME=/home/xmzk/earthworm #定义 Earthworm 安装位置的环境变量
- ②export EW_VERSION=earthworm_7.9 #定义 Earthworm 版本的环境变量
- ③export EW_RUN_DIR=/home/xmzk/earthworm/run #定义 Earthworm 运行位置的环境变量
- ④export EW_PARAMS=/home/xmzk/earthworm/run/params #定义 Earthworm 各模块参数档位置的环境变量
- ⑤export EW_LOG=/home/xmzk/earthworm/run/logs #定义 Earthworm 日志文件存放位置的环境变量
- ⑥export EW_DATA_DIR=/home/xmzk/earthworm/run/data #定义 Earthworm 波形数据文件存放位置的环境变量

(5) 拷贝启动文件

拷贝 Earthworm 源码包里 params 文件夹中的“startstop_unix.d”启动程序至/home/xmzk/earthworm/run/params 中，并根据自己的环境在文件中增加与删除功能模块。

(6) Earthworm 运行与开机自启动

打开终端命令行，键入“startstop”命令开启 Earthworm，如果命令行中提示各模块为 alive

说明 earthworm 运行正常, 如有些模块出现 zoombi 的字样说明该模块未正常工作, 需单独检查该模块, 逐一排错, 对其重新加载或编译。

4 模块功能搭建与配置档案设置

4.1 单一模块功能在系统中的添加安装步骤

可以通过以下几个步骤添加任一模块功能:

第一步: 编译该模块的源码, 编译模块功能命令: `make-f makefile name` (模块名称), 执行完可生成该模块的可执行程序;

第二步: 将编译完成后的可执行程序拷贝至 `/xmzk/earthworm/earthworm_v7.9/bin` 目录下;

第三步: 修改 `earthworm.d` 文件, 在 `earthworm.d` 文档中新增写入该模块名称 `id` 与该模块数据类型, 使得 Earthworm 系统可识别出该模块;

第四步: 复制该模块的参数配置文件拷入 `/home/xmzk/earthworm/run/params` 中;

第五步: 修改 `startstop.d` 文件, 增加新的模块, 在 `startstop.d` 文档中写入该模块的执行文件名称与配置文件名称。`startstop.d` 参数档的作用主要是定义 ring 的个数与定义需要开启多少模块, 需要开启的模块功能均需写入该文件中;

第六步: 执行 `recon` 命令, 重载 `startstop_unix.d` 文件, 即可将该模块加载到现在运行的 Earthworm 环境中。

4.2 数据接收模块的关键参数配置与说明

该模块主要通过修改 `/home/xmzk/earthworm/run/params/palart2ew.d` 的参数文件进行配置, 其主要参数设置说明如下:

#	参数设置	参数说明
01	<code>MyModuleId MOD_PALERT2EW</code>	#该模板实例的模块 ID 号
02	<code>RingName WAVE_RING</code>	#用于输入/输出的共享内存
03	<code>ServerIP 127.0.0.1</code>	#接收套接字的服务器 IP 地址
04	<code>ServerPort 23000</code>	#接收套接字的服务器端口

4.3 数据流服务模块的关键参数配置与说明

该模块主要通过修改 `/home/xmzk/earthworm/run/params/Wave_serverV.d` 的参数文件进行配置, 其主要参数设置说明如下:

#	参数设置	参数说明
01	<code>MyModuleId MOD_WAVESERVERV</code>	# wave_server 的模块 ID 号
02	<code>RingName WAVE_RING</code>	#定义从中获取数据的传输内存池的名称
03	<code>ServerIPAdr 0.0.0.0</code>	#定义运行 wave_server 的机器的 IP 地址 0.0.0.0 绑定到所有本地可用的 IP
04	<code>ServerPort 16022</code>	#配置用于接收请求和发送波的端口号
05	<code>TankStructFile /home/xmzk/earthworm/run/data/p1000-1z.str</code>	#定义 tank 格式数据结构
# SCNL Record Logo File Size Index Size File Name New		
# names size(TYPE_TRACEBUF2 only) (megabytes) (max breaks) (full path) Tank		
#EIZ SECTION		
06	<code>TankStructFile2 /home/xmzk/earthworm/run/data/p1000-2z.str</code>	#定义 tanks 格式数据结构
07	<code>Tank D2301 EIZ FJ 00 464 INST_WILDCARD MOD_WILDCARD 40 80</code>	

`/home/xmzk/earthworm/run/data/D2301_EIZ_FJ_00.tnk`

```

                                #定义各台站数据接收档位置与结构
08 Tank D2302 EIZ FJ 00 464 INST_WILDCARD MOD_WILDCARD 40 80 /home/xmzk/
earthworm/run/data/D2302_EIZ_FJ_00.tnk
09 InputQueueLen 400          #要缓冲的波形数值,一般设为通道数据的两倍以上

```

4.4 数据处理——P 波拾取模块的关键参数配置与说明

该模块主要通过修改/home/xmzk/earthworm/run/params/pick_eev.d 的参数文件进行配置,其主要参数设置说明如下:

#	参数设置	参数说明
01 MyModId	MOD_PICK_EEW	#定义模块名称
02 StaFile	"pick_palert_z"	#定义站名信息的文件名称,该文件主要是用于定义测站是否 P 波识取、STA 短周期加速度平均值/LTA 长周期加速度平均值的设置、Pa/Pv 阈值的设置等
03 InRing	WAVE_RING	#定义从哪个内存池中接收数据
04 OutRing	PICK_RING	#定义接数据存放至哪个内存池
05 HeartbeatInt	30	#心跳间隔,以秒为单位
06 EEWFile	sta_palert_z	#P 波识取参数档名,该文件主要是定义哪些台站参与 P 波识取计算,每个测站换算成 gal 的换算关系值,每个测站是计算加速度还是速度等

4.5 数据处理——地震报告生成的关键配置与说明

该模块主要通过修改/home/xmzk/earthworm/run/params/tcpd.d 的参数文件进行配置,其主要参数设置说明如下:

#	参数设置	参数说明
01 MyModuleId	MOD_TCPD	#该模板实例的模块 ID
02 RingName	PICK_RING	#定义读取哪个共享池数据
03 RingName_out	EEW_RING	#定义接处理数据存放至哪个共享池
04 MagMin	0.5	#地震规模大于 0.5 规模,产生报告
05 MagMax	10	#地震规模小于 10 规模,产生报告
#-----	For Small Event	#地震报告触发条件
06 Trig_tm_win	30.0	#定义每个触发站之间的 P 波到达时间
07 Trig_dis_win	120.0	#定义每个触发的站之间的距离
08 Active_parr_win	60.0	#定义每个站的存活时间(秒),P 波到达时间和当前时间之间
09 GetEventsFrom	INST_WILDCARD MOD_WILDCARD TYPE_EEW	#该模块新创建的数据类型,必须将该类型写入 earthworm.d 文件中

4.6 数据处理——烈度图生成模块的关键配置与说明

该模块主要通过修改/home/xmzk/earthworm/run/params/shakemap.d 的参数文件进行配置,其主要参数设置说明如下:

#	参数设置	参数说明
01 MyModuleId	MOD_SHAKEMAP	#该模板实例的模块 ID
02 RingName	WAVE_RING	#用于输入/输出共享内存池
03 LogFile	0	#0 关闭磁盘日志文件;1 将其打开以记录到模块日志,但不是 stderr / stdout
04 HeartBeatInterval	15	#心跳之间的秒数
# Installation	Module	Message Types
05 GetEventsFrom	INST_WILDCARD MOD_WILDCARD TYPE_TRACEBUF2	#该模块新创建的数据类型,必须将该类型写入 earthworm.d 文件中

```

06 Report_path /home/xmzk/shakemap/          #图件生成存储位置
# 将要计算的台站信息写入该配置文件中
07 SaveSCNL D2301 FJ 00 24.4646 117.9793 0.060427 0.060427 0.060427
08 SaveSCNL D2302 FJ 00 24.0000 117.0000 0.060427 0.060427 0.060427
09 SaveSCNL D2303 FJ 00 24.0000 117.0000 0.060427 0.060427 0.060427
10 SaveSCNL D2101 FJ 00 24.5384 118.1652 0.060427 0.060427 0.060427
11 SaveSCNL D2201 FJ 00 24.5706 117.9876 0.060427 0.060427 0.060427
12 SaveSCNL D2202 FJ 00 24.6308 118.0840 0.060427 0.060427 0.060427
13 SaveSCNL D2203 FJ 00 24.0000 117.0000 0.060427 0.060427 0.060427
14 SaveSCNL D2204 FJ 00 24.0000 117.0000 0.060427 0.060427 0.060427

```

4.7 数据存储模块的关键配置与说明

该模块的主要通过修改/home/xmzk/earthworm/run/params/ewmseed Archiver.d 的参数文件进行配置，其主要参数设置说明如下：

```

#           参数设置           参数说明
01 MyModuleId    MOD_EWMSEEDARCHIVER  #该程序的模块 ID
02 RingName      MSEED_RING           #用于输入共享池
03 MaxLatency    1                    #假设此网络的最大延迟为 1 分钟
04 HeartBeatInt  30                   #EW 内部心跳间隔（秒）
05 LogFile       2                    #如果为 0,不要写 logfile;如果 1,写入
                                       logfile;if 2,写入模块日志但不写到
                                       stderr/stdout 文件中

#           Installation      Module      Message Type
06 GetMsgLogo    INST_WILDCARD  MOD_WILDCARD  TYPE_MSEED
                                       #该模块新创建的数据类型,必须将该类型
                                       写入 earthworm.d 文件中
07 MaxMsgSize    4096
08 QueueSize     2048
09 Send_scnl     * * * *
10 Archive /home/xmzk/data/mseed/%Y/%n/%s/%c.D/%n.%s.%l.%c.D.%Y.%j.mseed #
存储位置与格式设置

```

5 Earthworm 系统常用命令总结

在 Earthworm 应用的过程中，对一些常用命令进行了总结，如表 1（Earthworm 官方网址，2010）。

表 1 Earthworm 常用命令

Table 1 Commonly used commands of Earthworm

序号	命令	作用	示例
1	startstop	在计算机上启动和停止所有 Earthworm 模块，这个模块是 Earthworm 系统的核心	
2	restart	手动重新启动单个模块	
3	recon	允许向正在运行的 Earthworm 添加新模块或 RING	
4	pau	完全关闭 Earthworm 和所有模块/RING	pau startstop_nt.d
5	stopmodule	给定一个 Earthworm 模块进程 ID，stopmodule 停止它，startstop 将其标记为“Stop”，以防止 statmgr 重新启动它	用法：Stopmodule <process_id> <可选：startstop 配置文件>
6	quit	关闭 earthworm 系统	
7	restart	重启系统中任何一支模块	restart module id
8	status	输出到屏幕 EARTHWORM RING 和模块的状态。	status <optional:startstop config file>
9	sac2tb	将 sac 文档转成 tank 文档	sac2tb [-n max-samples] infile >> outfile

续表

序号	命令	作用	示例
10	ms2tb	将 miniseed 文档转成 tank 文档	ms2tb [-n max-samples] infile >> outfile
11	remux_tbu	将地震观测数据资料按时间进行排序	remux_tbuf <demuxed_file> <outputfile>
12	tankcut	将地震观测数据进行剪切	tankcut -s StartTime [-e EndTime]-d Duration] intank outtank all times for -s and -e options must be in YYYYMMDDHHMMSS format
13	dumpwave	将 tank 二进制文档转成 ASCII 文档	dumpwave <filename> <optional:pinno>
14	Findwave	查看数据池中是否已接收到地震波形数据	Findwave WAVE_RING 80 1 out.txt w
15	Sniffwave	显示服务器每秒收到封包值	Sniffwave WAVE_RINGL001 HLZ TW -y
16	getmenu	检查 waveserverV 是否存活, 有哪些资料	Getmenu 127.0.0.1:16001

6 系统运行情况

6.1 波形数据接收展示

Earthworm 地震数据处理系统可以通过 swarm 实时波形查看工具实时查看接收到的地震波 (图 2), 下载地址: <https://volcanoes.usgs.gov/software/swarm/download.php>。

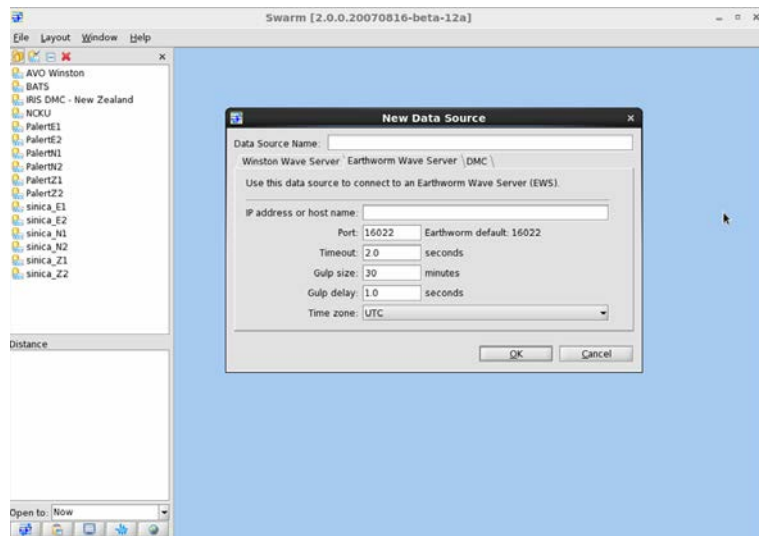


图 2 地震波形实时查看

Fig. 2 Real-time seismic waveforms

6.2 Earthworm 系统的硬件资源使用

福建省地震局 Earthworm 系统硬件配置采用一台 HP DL580 Gen9 服务器, 4 颗 Inter 至强 E7-4820v3 型号 CPU, 内存 128GB, 从系统截图 (图 3) 观察 Earthworm 各模块的资源利用率相对较低。

6.3 地震共享池数据结构

Earthworm 数据录入规则是一秒钟一个封包, 采样数据分别录入到各自的 RING 中, 均可通过命令 sniffwave 查看获取的数据结构, 通过 sniffwave 命令查得 RING 中每秒钟的数据结构如图 4 所示, 主要包括台站名称、数据封包时间、封包序列号、包长度、波长电频信号

等信息。

```
[fw@earthworm ~]$ top
top - 16:53:03 up 8:21, 6 users, load average: 0.11, 0.13, 0.14
Tasks: 339 total, 1 running, 337 sleeping, 0 stopped, 1 zombie
%Cpu(s): 0.8 us, 0.4 sy, 0.0 ni, 98.4 id, 0.2 wa, 0.0 hi, 0.2 si, 0.0 st
KiB Mem : 10296556+total, 81126960 free, 4322772 used, 17515836 buff/cache
KiB Swap: 8258556 total, 8258556 free, 0 used. 98254704 avail Mem
```

PID	USER	PR	NI	VIRT	RES	SHR	S	%CPU	%MEM	TIME+	COMMAND
21120	root	20	0	12380	10620	9916	S	3.7	0.0	15:19.25	pick_ew
21122	root	20	0	44976	25316	16932	S	2.3	0.0	17:53.17	tbuf2mseed
30215	root	20	0	8212	3344	648	S	2.3	0.0	10:15.13	Palert_ForwardS
23839	root	20	0	33644	21128	8824	S	1.3	0.0	4:37.31	palert2ew
21118	root	20	0	43112	13360	8940	S	1.0	0.0	3:41.11	wave_serverV
21117	root	20	0	92392	20004	9064	S	0.7	0.0	4:52.75	wave_serverV
21119	root	20	0	43112	13272	8680	S	0.7	0.0	3:43.15	wave_serverV
6	root	20	0	0	0	0	S	0.3	0.0	1:02.46	kworker/u20:0
19	root	20	0	0	0	0	S	0.3	0.0	0:49.05	rcu_sched
21	root	20	0	0	0	0	S	0.3	0.0	0:18.99	rcuos/1
25	root	20	0	0	0	0	S	0.3	0.0	0:07.71	rcuos/5
33	root	20	0	0	0	0	S	0.3	0.0	0:48.12	ksoftirqd/1
653	root	20	0	322552	6672	5052	S	0.3	0.0	0:27.75	vmtoolsd
3273	root	20	0	399880	1384	1008	S	0.3	0.0	0:56.84	pcsd
3551	root	20	0	377660	17928	14252	S	0.3	0.0	1:56.39	vmtoolsd
4258	root	20	0	1095736	26652	16300	S	0.3	0.0	0:15.95	gnome-settings-
4382	root	20	0	380348	20508	14260	S	0.3	0.0	1:20.43	vmtoolsd
7967	fw	20	0	157816	2460	1552	R	0.3	0.0	0:00.06	top
15130	root	20	0	0	0	0	S	0.3	0.0	0:18.33	kworker/2:0
20910	ntp	20	0	33652	2188	1556	S	0.3	0.0	1:51.05	ntpd

图 3 Earthworm 硬件资源使用情况

Fig. 3 Earthworm hardware resource usage

```
[fw@localhost params]$ sniffwave_WAVE_RING D2302 EIZ FJ 00 y
Sniffing WAVE_RING for D2302.EIZ.FJ.00
sniffwave: inRing flushed 17622 packets of 8176608 bytes total.
D2302.EIZ.FJ.00 (0x32 0x30) 0 i4 100 100.0 2017/09/18 03:22:35.00 (1505704955.0000) 2017/09/18 03:22:36
.00 (1505704956.0000) 0x20 0x00 i255 m150 t19 len 464 [D: 0.2s F: 0.0s]
  1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0
  0 0 0 0 0 0 0 0 -1 -1 -1
 -1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
  1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0
  1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0
  1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0
```

图 4 PICK_RING 数据结构信息

Fig. 4 Information of PICK_RING data structure

6.4 地震报告产出流程

Earthworm 系统在地震到来时获取 4 个台站数据后就可以触发计算，但还需验算，通过 pick_ew 进行 P 波拾取，再通过 tcpd 模块产出地震报告，主要工作流程如下：

第一步：进行 autopicking 工作，若 autopicking 的 pa 及 pv 大于执行模块参数文件设定值，则将数据放进 PICK_RING 里。执行模块的参数文件中提到的其中一个档案就是设定 picking 条件的档案；

第二步：tcpd 模块会先以 PICK_RING 的数据进行 grouping。采用 Geiger method，如果 RMS 太大，则剔除 RMS 最大的测站，若小于 4 个测站则停止计算，若是 grouping 的触发测站达到 6 站则继续执行计算；

第三步：计算震源坐标 (x, y, z) 以及发震时间 t 。利用 (x, y, z) 计算到各个测站的理论走时；

第四步：发震时间加上理论走时，就是理论到时。如理论到时与 autopicking 的残差 residual 太大，则回到第三步，重新计算新的震源 (x', y', z') ，执行后续的步骤。如果 residual 一直无法收敛，则会将 residual 最大的测站剔除，再重新计算，若测站数小于 4 站，则停止计算。

通过该系统接收数据并进行分析，得到地震报告的产出如图 5。

序号	台站编号	纬度/°N	经度/°E	震中距/km	PGA/m·s ⁻²			三方向合成	仪器烈度
					EW	NS	UD		
1	C5808	24.52	118.57	249.08	-0.003594	-0.002209	0.003409	0.00368754	1
2	C5809	24.62	118.61	254.349	0.005421	0.00585	0.003046	0.00703817	1
3	C5704	24.68	118.68	255.024	-0.002265	0.002874	0.003271	0.00346589	1
4	C5703	24.72	118.72	256.406	0.002873	0.002565	0.001745	0.00302943	1
5	C5702	24.75	118.76	256.739	0.001802	0.001509	-0.001948	0.00224956	1
6	C5807	24.60	118.55	256.76	-0.006653	0.007938	0.003544	0.0085378	1
7	C5307	24.89	118.92	260.797	-0.002045	-0.001866	0.002186	0.00238629	1
8	C5806	24.63	118.50	262.561	-0.006591	-0.004111	0.003253	0.00698695	1
9	C5311	24.94	118.99	262.726	0.004337	0.003077	0.003167	0.0050131	1
10	C5805	24.68	118.56	262.742	0.003275	0.003143	0.001815	0.00417228	1
11	C5706	24.72	118.61	263.469	-0.006403	-0.007234	0.004772	0.00831066	1
12	C5701	24.79	118.68	264.545	-0.007485	-0.004803	0.003463	0.00752519	1
13	C5306	24.91	118.89	265.192	-0.008857	-0.006532	-0.002673	0.00916412	1
14	C5810	24.76	118.6	267.93	0.005567	-0.005756	0.003407	0.00697394	1
15	E6903	24.25	118.06	268.102	-0.005544	-0.005894	-0.003192	0.00631677	1
16	D2505	24.56	118.33	268.693	0.001978	-0.002434	0.002537	0.00280444	1
17	C5811	24.79	118.62	268.935	0.007139	0.011176	0.002567	0.0117413	1
18	B4411	25.20	119.52	269.446	-0.004913	-0.003194	0.003243	0.00550326	1
19	C5310	24.98	118.90	270.412	0.004778	-0.004357	0.002847	0.00577228	1
20	C5314	24.87	118.72	270.427	0.00269	0.001845	0.002166	0.00325469	1

图 5 地震事件报告

Fig. 5 Report of earthquake events

6.5 地震图件生成样式

通过系统中产生的数据得到的 PGA 地震加速度峰值分布图如图 6 所示。

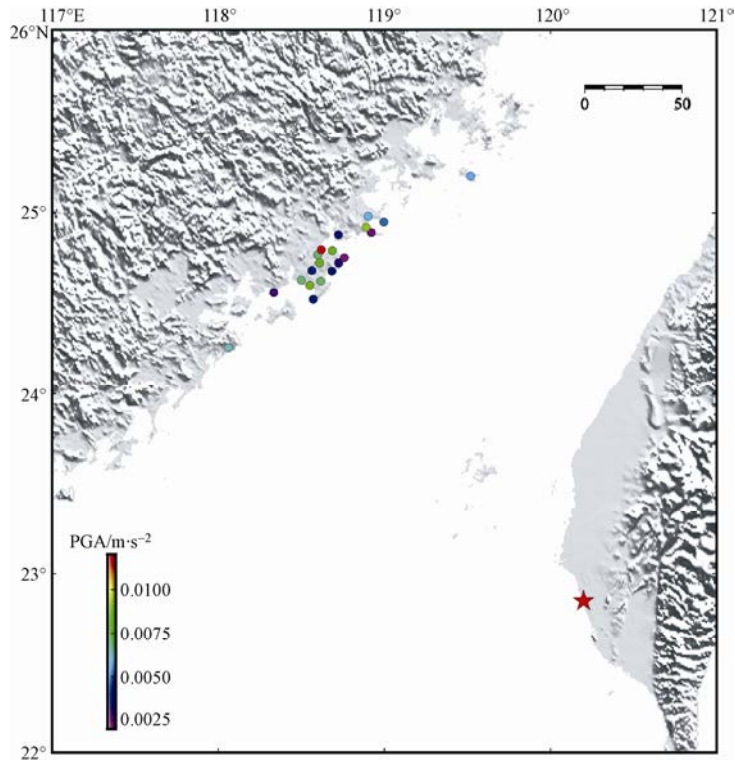


图 6 PGA 加速度峰值分布图

Fig. 6 Distribution of PGA

7 结束语

Earthworm 系统引进了搭积木式模块化架构理念, 将地震数据处理功能需求整合为 6 个软件模块, 即数据接收模块、实时波形查看、自动震相拾取、定位与震级计算、数据格式转换、数据文件存档, 各模块各司其职又相互关联。各模块之间分工明确, 结构简单, 具有优秀系统架构的稳定性、跨平台性、安全性、可扩展性、可定制化等特点。Earthworm 系统运行稳定, 功能强大, 深受用户好评。其模块化设计, 将庞大的系统功能分布运行于多台服务器, 降低软件系统对服务器的性能要求, 且架构配置简单, 适合在各种不同规模的地震台网进行部署, 用户可以根据自己的需求采用不同方法组建系统。

参考文献

- 马强, 2008. 地震预警技术研究及应用. 哈尔滨: 中国地震局工程力学研究所.
- 王喆, 2006. 高速铁路地震预警及快速反应系统研究. 世界轨道交通, (6): 44—46.
- 吴永权, 黄文辉, 2010. 数据处理系统软件 JOPENS 的架构设计与实现. 地震地磁观测与研究, 31 (6): 59—63.
- Earthworm 官方网址, 2015. Earthworm Documentation V7.9. (2015-04-24). <http://folkworm.ceri.memphis.edu/ew-doc/>.

Application of Earthworm on Earthquake Data Processing System in the Fujian Earthquake Early Warning System Project

Fang Weihua, Zhou Lanjie, Yan Pei, Li Wenhui and Wang Hao

(Xiamen Research Center of Seismic Exploration, Xiamen 361021, China)

Abstract This paper introduces the Earthworm system developed by USGS, which is an open source software and is written in C language. It consists of various modules and each module has different functions, including data receiving module, P-wave picking module, seismic positioning report output module, seismic event drawing module, and seismic wave storage module. The users can prepare the corresponding functional modules according to their own needs. In this paper we introduce the application of the system in the project of the earthquake early warning system in Fujian Province, including the organization of the Earthworm system, the business process, the main function of the software module and the logical relationship between different modules. The purpose of this paper is to provide the architecture and the application experience of the system, so that it can be applied and promoted in the earthquake study in future.

Key words: Earthworm; USGS; Facile seismic intensity meter; Data processing system