

基于IPTV的云南地震预警信息发布技术及在 2021年云南漾濞 M_s 6.4地震中的应用*

吴艳梅, 赵至柔, 李敏, 贾召亮, 曹彦波

(云南省地震局, 云南昆明 650224)

摘要: 为有效解决云南地震预警系统信息发布覆盖范围有限、预警成效不足等实际问题, 选取交互式网络电视(IPTV)作为云南地震预警信息的拓展发布渠道, 联合云南移动和云南电信, 通过设计云南地震预警信息发布安卓应用程序包(APK)、明确技术架构、设计发布规则和发布流程、开发“云南地震预警”电视应用, 采用MQTT协议以广播的形式实现了IPTV地震预警。目前“云南地震预警”应用已推广覆盖至全省约900万IPTV用户, 已有20万IPTV用户安装下载, 地震发生后, 该应用能在电视屏幕上以弹窗的形式显示地震基本信息、预测计算信息、避震提示及语音播报。通过在漾濞 M_s 6.4地震中的检验, 其预警发布效果和宣传效果较好。

关键词: 电视预警; 地震预警; 预警信息发布; IPTV

中图分类号: P315-392

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2021)03-0499-08

0 引言

地震预警主要是通过通过在一定区域范围内部署多个传感器, 形成地震监测台网。当地震发生时, 通过监测、分析与计算、处理、发布与紧急处置, 充分利用电磁波比地震波传播快所形成的时间差, 在地震波到达目标区域之前向各目标用户发出地震预警信息, 提醒其进行紧急处理与避险(李翔等, 2020)。多震且经济发达的国家或地区的地震预警相关理论研究和实践都起步较早且发展成熟, 如日本、墨西哥、美国西海岸、罗马尼亚、土耳其及我国台湾地区都拥有管理规范的地震预警系统(Allen, Melgar, 2019; Cremen, Galasso, 2020), 可通过无线电广播、电视频道(Hoshiaba *et al*, 2008)、无线电接收器、付费电视和广播电台、市政喇叭系统、手机(Suárez *et al*, 2021)等渠道向公众提供地震预警服务。预警系统除发布地震提示、预警警报、避险指导外(杨程等, 2018), 也提供断层滑移分布、峰值地震动观测值等地震

参数信息(Chung *et al*, 2020), 信息发布方式多样且不断开发新的发布渠道(刘赫奕等, 2020)。

我国现阶段还处于地震预警系统研究与应用的早期阶段。国家地震烈度速报与预警工程项目于2018年7月正式启动实施, 通过建设台站观测、通信网络、数据处理、信息服务等系统, 从总体上提升我国防震减灾能力(Peng *et al*, 2011, 2020; Zhang *et al*, 2016)。云南地震预警项目作为其重要组成部分之一, 2021年5月建成由1540个观测台站、1个省级预警中心、16个州(市)发布平台、746套预警终端以及与之配套的软件系统组成的地震烈度速报与预警系统, 初步实现了全省地震烈度速报和预警服务能力。但云南作为我国地震最多、震灾最重的省份之一, 仅通过746套预警终端进行信息发布, 覆盖范围有限、预警成效不足, 距预警信息发布和服务的全覆盖目标尚存在较大差距, 因此利用成熟技术和稳定平台提高地震预警信息的覆盖面就显得尤为重要。

电视是重要的广播和视频通信工具, 综合人

* 收稿日期: 2021-06-03.

基金项目: 云南省青年地震科学基金项目(2021K07)和国家重大研发计划项目(2018YFC1504504)联合资助.

第一作者简介: 吴艳梅(1990-), 工程师, 主要从事地震应急及地震预警信息发布研究.

E-mail: 1044710105@qq.com.

口覆盖率在 99% 以上^①。随着信息化和智能化的高速发展,可通过光纤宽带网络向用户提供视频服务、信息服务、互动娱乐等多媒体数字电视业务的崭新技术——交互式网络电视(IPTV)也发展迅速。除去有线网络未通达的农村地区的直播卫星用户,2020 年云南省 IPTV 用户数(含互联网电视用户数)占全省电视总用户的 62%,且用户规模仍在快速增长^②。云南 IPTV 主要集中在云南电信和云南移动,截至 2021 年 5 月,云南电信 IPTV 客户规模超 300 万户,每天可为全省超 85 万户家庭提供收视服务;云南移动 IPTV 客户规模约 28 万户,高清机顶盒(即 OTT)客户规模超 580 万户,每天可为全省超过 159 万家庭客户提供收视服务,收视基础均较好。由于云南移动 IPTV 和 OTT 在技术实现上区别不大,将其统称为 IPTV。本文选取 IPTV 作为云南地震预警信息的拓展发布渠道,联合云南移动和云南电信明确了技术架构,设计发布规则和发布流程,把 IPTV 及其机顶盒作为一个预警终端,通过解决机顶盒定位、本地预测烈度计算与本地预警时间倒计时计算的技术难点,探索实现云南 IPTV 地震预警信息发布。

1 研究方法与技术路线

1.1 研究方法

目前基于安卓平台的 IPTV 机顶盒应用程序的设计让客户端的模块交互更为便利,客户端可将发布于应用商店的安卓应用程序包(Android Ap-

plication Package,简称 APK)提供给机顶盒厂家,机顶盒厂家将 APK 集成在系统固件中,由双方通过联调后进行发布(刘文静,2017),也可通过设置应用商店的应用入口,采取电视用户自行下载的方式进行 APK 发布。本文通过设计云南地震预警信息发布 APK(以下简称地震预警 APK),联合云南移动和云南电信采取电视用户自行下载的方式,采用实验法,经过多轮技术测试探索实现了 IPTV 地震预警信息发布。

1.2 技术路线

通过部署专线网络和位于运营商网络的地震预警转发平台服务器,可将从云南地震预警信息发布平台接收到的地震预警信息进行实时传输;使用 IBM MessageSight 数据平台和消息队列遥测传输(Message Queuing Telemetry Transport,简称 MQTT)即时通讯协议作为地震预警发布中间件,通过设置地震预警信息发布 MQTT 协议建立服务端与 IPTV 机顶盒终端间的长连接,地震预警转发平台通过运营商的网络以及 MQTT 协议与 IPTV 机顶盒建立心跳连接,地震预警 APK 与地震预警转发平台服务器可以完成实时数据传输;机顶盒收到地震预警信息后,通过地震预警 APK 计算出本地震中距、本地预测地震烈度、本地地震预警时间,在电视屏幕上以弹窗的形式显示满足发布条件的地震预警信息并播报语音提示,具体技术路线如图 1 所示。云南地震预警信息发布平台、地震预警转发平台服务器和 IPTV 机顶盒的时间都同步到同一个授时服务器,以保证预警时间的有效性。

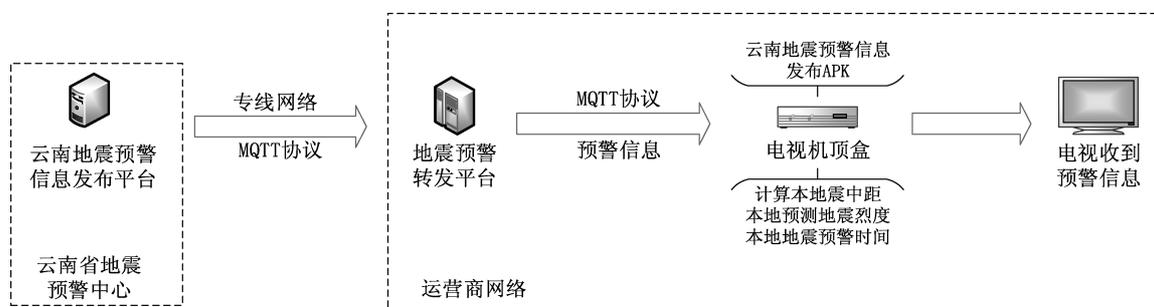


图 1 IPTV 地震预警信息发布技术路线

Fig. 1 Technical route of issuing earthquake warning information by IPTV

① http://www.mta.gov.cn/art/2021/4/19/art_113_55837.html.

② http://ynsgbdsj.yn.gov.cn/xg_xgk/xg_xgk_tzgg/202106/t20210615_1054384.html.

2 设计与实现

2.1 发布规则设计

针对云南省内发生的地震，设计如下：自预测地震 $M \geq 3.0$ 时进行发布，自预测地震烈度 1 度起进行弹窗提示。根据预测地震烈度的不同，云南地震预警信息发布标准将地震预警分为灾害性预警和告示性预警两类，并将地震预警等级由强到弱分为 4 级，依次为 1 级、2 级、3 级和 4 级，并分别采用红、橙、黄、蓝 4 种颜色表示。云南 IPTV 地震预警信息采用云南地震预警信息发布标准进行发布，预警等级与预测地震烈度的对应关系见表 1。

表 1 云南地震预警等级与预测地震烈度的对应关系
Tab.1 Corresponding relations between the earthquake warning grade and the predicted earthquake intensity

地震预警类别	地震预警等级	等级颜色	预测地震烈度	地震预警图标
灾害性地震预警	1 级	红色	≥ 7 度	
	2 级	橙色	5 度、6 度	
告示性地震预警	3 级	黄色	3 度、4 度	
	4 级	蓝色	1 度、2 度	

发布内容包括文字展示、图标展示、弹窗展示和报警声提示，所需电视权限有网络权限、读写内存权限、悬浮窗权限、定位权限、获取信息权限以及开机自启动权限。具体如下：

(1) 文字展示：包括地震基本信息（发震时刻、震中位置、震级）、预测计算信息（本地预测烈度、预警时间倒计时）、避震提示及信息来源。

(2) 图标展示：根据本地预测烈度，展示相应级别的地震预警图标（表 1）。

(3) 弹窗展示：通过安卓弹窗（Android Dialog）的方式进行展示，弹框的关闭由本地预警时间决定。弹窗位置在屏幕上居中对齐，弹框界面的大小可自动适配屏幕分辨率，弹窗底色与预警

等级颜色对应。弹窗信息简明、易懂，主要显示本地预警时间的倒计时，倒计时结束后，弹框显示总倒计时长度并停留 15 s 后关闭。

(4) 警报声提示：警报声作为“可能对本地造成严重破坏的地震警报”的告警，设计告示性地震预警（即蓝色预警和黄色预警）没有警报声提示，灾害性地震预警（即橙色预警和红色预警）有警报声提示。通过后台部署的服务器可配置机顶盒预警终端的声音状态。设计当预测地震烈度 ≥ 5 度时（即橙色预警和红色预警）播放预警声音，采用“声音 + 语音播报”的方式单声道循环播放。

2.2 发布流程与安全

发布流程采用最简可行化分析模式，通过服务保障方案绑定 MQTT 协议服务器，当 MQTT 协议连接成功后可进行心跳包的传输；在平台没有下发指令与预警信息时，电视机顶盒日常只维持心跳包的传输。MQTT 协议服务器收到预警信息后通过预警算法计算，判断是否预警，需要预警时则通过广播的方式通知打开预警弹窗。整个发布流程设计，考虑了通讯安全、平台安全、交互安全和数据安全，具体如图 2 所示：

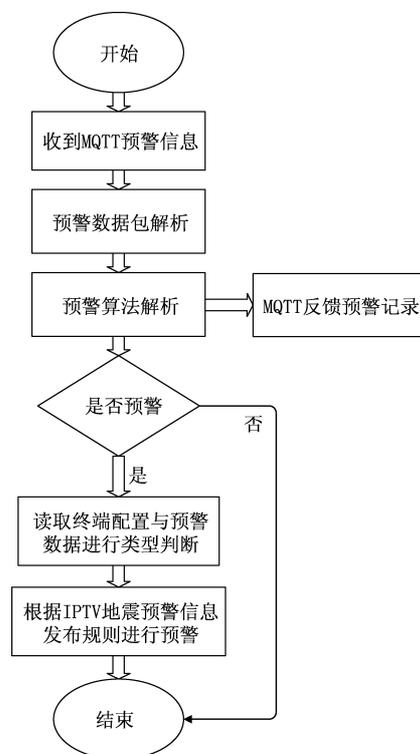


图 2 IPTV 地震预警信息发布流程
Fig. 2 Release process of IPTV earthquake early warning information

(1) 通讯安全。搭建专线将云南地震预警信息发布平台发出的地震预警信息传输到位于运营商网络的地震预警转发平台,再通过运营商的网络连接到电视机顶盒,确保通讯链路安全;通过对地震预警 APK 应用程序进行签名,明确发布者身份,确保应用的完整性以及程序包中的文件不会被替换,确保位于运营商网络的地震预警转发平台消息与地震预警 APK 之间的通讯安全。

(2) 平台安全。地震预警转发平台使用消息代理软件 Mosquitto 进行信息发布,通过设置权限控制,只允许白名单 IP 的服务端发布,非白名单无法进行发布。同时,通过 MQTT 协议与地震预警 APK 进行预警发布订阅信息交互,地震预警 APK 须订阅特定预警主题才能保障机顶盒接收预警信息。

(3) 交互安全。超文本传输协议 (HTTP) 消息交互:当信息文本从服务器端传输到本地浏览器时,为保障接入源安全,使用国密杂凑算法 (SM3) 进行签名,当地震预警 APK 请求地震预警转发平台接口时将请求参数加盐 (salt) 做签名操作,地震预警转发平台需解析该签名,如果签名信息错误则不允许接入。

MQTT 协议消息交互。只有使用账户密码连接 MQTT 服务器才允许进行消息交互,地震预警 APK 账户密码通过接口正常入网授权后获取 MQTT 账号密码。

(4) 数据安全。地震预警 APK 进行了代码混淆,定义了专门的数据结构进行数据的发送和接收,只会接收到订阅的主题发送的内容,若内容不兼容格式将不予进行下一步操作,可防止不明数据进行错误预警或其他操作。MQTT 协议自带异常机制,在格式解析错误报错后,APK 会将 MQTT 协议断开并重新连接电视预警信息发布平台。

2.3 技术实现

2.3.1 关键技术

地震预警的关键信息是用户所在地的预测烈度和预警时间倒计时。本文采用 MQTT 协议以广播的形式进行 IPTV 地震预警信息发布,需由电视根据自身位置信息自行计算本地预测烈度与预警时间倒计时,因此要在电视机顶盒内嵌的地震预警 APK 里明确相关算法,通过读取机顶盒定位信息后进行相关计算,以完成技术实现。具体算法有:

(1) 机顶盒定位与震中距计算

采用 IP 定位+后台设置的方式获取机顶盒本地经纬度位置,以 IP 定位为主,定位精度到县(区)一级。云南移动通过提取各县(区)IP 段地址数据进行机顶盒定位,云南电信通过机顶盒分组序列号映射县(区)地址数据进行机顶盒定位。

震中距的计算首先将以纬度 θ -经度 φ 方式标识的震中 $P_1(\theta_1, \varphi_1)$ 与本地位置 $P_2(\theta_2, \varphi_2)$ 转换为直角坐标标识震中 $P_1(x_1, y_1, z_1)$ 与本地位置 $P_2(x_2, y_2, z_2)$ 。转换方法如下:

$$\begin{aligned} x &= R \cos \theta \cos \varphi \\ y &= R \cos \theta \sin \varphi \\ z &= R \sin \theta \end{aligned} \quad (1)$$

式中: R 为地球平均半径,取 6 378 km。

然后计算震中距 d 如下:

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad (2)$$

(2) 本地预测地震烈度计算

本地预测烈度算法采用点源模型的地震动衰减关系,计算公式为:

$$I = I_0 - 4 \times \lg\left(\frac{D}{10} + 1\right) \quad (3)$$

式中: I_0 为震中烈度; D 为震源距(单位: km),由震中距和震源深度确定,计算公式为:

$$D = \sqrt{d^2 + h^2} \quad (4)$$

式中: d 为震中距; h 为震源深度。显示的本地预测烈度采用四舍五入取整。

(3) 本地地震预警时间计算

本地预警时间 t 为“S 波从震源传到本地的用时 T ”减去“当前已消耗的时间 ΔT ”,其中 T 用震源距除以本地 S 波的平均速度求得,所以本地预警时间的计算公式为:

$$t = \frac{D}{v} - (\Delta T) \quad (5)$$

式中:云南本地 S 波的平均速度取 3.55 km/s; $\Delta T = t_{\text{now}} - t_{\text{eq}}$, t_{now} 为机顶盒当前时间, t_{eq} 是地震的震发时间。

为确保 t_{now} 与 t_{eq} 的准确性,使用统一的授时服

务器对云南地震预警信息发布平台、地震预警转发平台和电视机顶盒进行授时。

2.3.2 具体实现

收到地震预警信息后，电视机顶盒以弹窗提醒的形式在已开机的电视上呈现。弹窗内容主要

为地震基本信息（发震时刻、震中位置、震级）、预测计算信息（本地预测烈度、预警时间倒计时）、避震提示及信息来源。根据发布标准弹窗提醒分为 4 种类型，由弱到强分别为蓝色、黄色、橙色、红色预警，具体界面如图 3 所示。

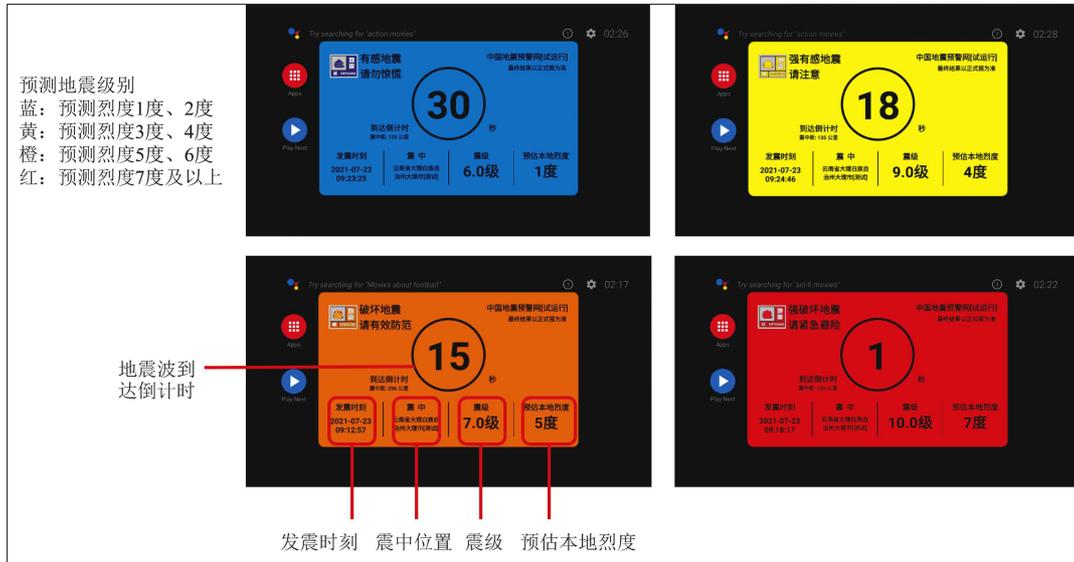


图 3 IPTV 电视地震预警弹窗界面

Fig.3 Pop-up interfaces of earthquake early warning on IPTV

3 分析与讨论

3.1 应用情况

云南移动和云南电信 IPTV 目前采用用户自行下载安装的方式进行“云南地震预警”应用的推广。用户进入电视首页上的应用入口，点击安装后即可在电视上接收地震预警信息，应用界面如图 4 所示。

“云南地震预警”应用实行边运行、边推广，分 4 个批次完成了全省覆盖。2021 年 2 月 3 日移动高清电视盒子“云南地震预警”在云南多震的昭通市、迪庆州、大理州、德宏州等 12 个州（市）下辖的 23 个县（区）上线，4 月 27 日覆盖全省；5 月 22 日电信 IPTV 全省上线，5 月 24 日移动 IPTV 全省上线。目前下载用户总数已超 20 万户，已下载用户在线率保持在 20% ~ 70%，18 ~ 22 时的在线率最高，如图 5 所示。



图 4 云南移动 (a) 与云南电信 (b) 地震预警电视应用界面

Fig.4 Early Warning applications offered by China Mobile Yunnan Company (a) and China Telecom Yunnan Company (b)

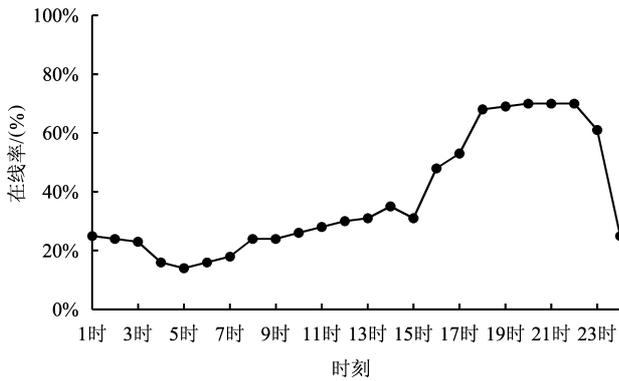


图 5 已下载用户一天中各时刻平均在线率情况
Fig. 5 Average online rate of users having downloaded the early warning application on every hour of the day

3.2 地震响应

2021 年 5 月 21 日 21 时 48 分，在云南省大理州漾濞县苍山西镇 (25.67°N, 99.87°E) 发生 $M_s6.4$ 地震。地震发生前云南移动约有 4.2 万户电视用户下载安装“云南地震预警”应用，地震发生时在线用户数约 1.4 万户，均收到了地震预警信息。但由于短时间大并发量和网络带宽不够的问题，致使电视机顶盒反馈到服务端出现异常，系统管理后台仅收到 111 个县 (区) 共 981 台电视机顶盒的反馈 (图 6)，反馈数据显示，其中有 5 台电视机顶盒达到最大响应烈度 5 度，发出橙色预

警和警报声，分布于漾濞县；29 台电视机顶盒响应烈度为 3 度，发出黄色预警，分布于大理市、洱源县、云龙县、永平县、巍山县；48 台电视机顶盒响应烈度为 2 度，其余电视机顶盒响应烈度为 1 度，均发出蓝色预警，分布于 105 个县 (区) (图 7)。

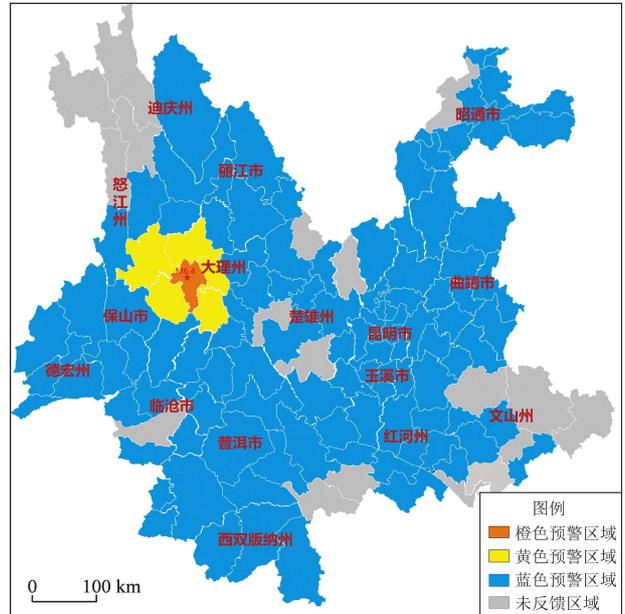


图 6 漾濞 $M_s6.4$ 地震云南电视地震预警范围
Fig. 6 The early warning scope of IPTV in Yunnan in the Yangbi $M_s6.4$ earthquake event

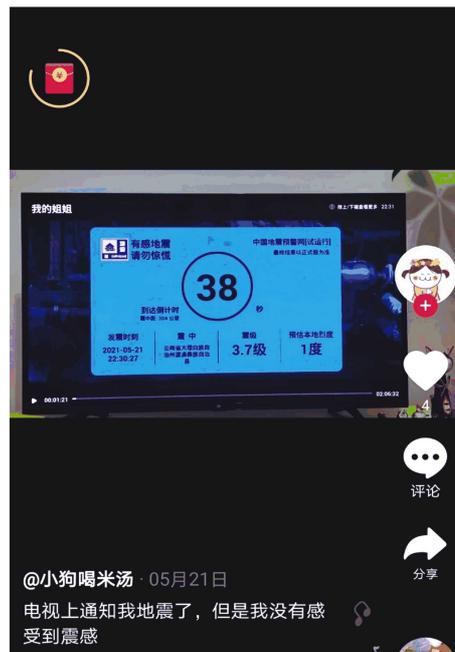


图 7 漾濞 $M_s6.4$ 地震及其余震后部分县 (区) 电视预警照片
Fig. 7 Pop-up windows of the early warning information in the Yangbi $M_s6.4$ earthquake event and its aftershocks

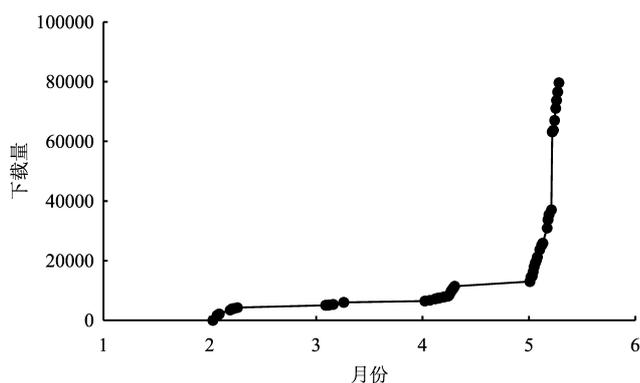


图8 2021年“云南地震预警”应用下载量

Fig. 8 Downloads of the Yunnan Earthquake Early Warning application in 2021

漾濞地震后不到 24 h,“云南地震预警”应用的下载量翻了一倍(图 8),得到了广大群众的认可。震后 48 h 云南移动通过“云南地震预警”应用及时向群众发出电视预警 43 次,机顶盒响应 10 万余台(次),为市民提前做好安全防护赢得了宝贵时间。

3.3 存在问题

云南 IPTV 地震预警尚处于“先行先试”阶段,从信息处理、传递到发布环节,还存在 4 个问题:①需完善发布模式和发布策略。面对全省约 900 万 IPTV 用户,需研究一套科学合理的信息发布算法,能快速精确地向不同烈度环境下的发布对象进行预警;②需设计关键算法的功能拓展。本地预测地震烈度计算现采用点源模型和震中烈度的地震动衰减关系,引入线源估算结果时该关系将无法使用;③需进一步简化电视弹窗界面,方便用户在接收到预警信息后能第一时间定位到具体的关注点上,更贴合用户的需求;④需提升预警信息发布安全保障能力,联合电视运营商加强全链条预警服务系统的网络安全、信息安全和数据监控,优化预警信息发布平台,规范预警信息发布渠道,建立异常情况处置机制,提升电视预警大范围、高并发信息播发保障能力。

4 结论

本文选取 IPTV 作为云南地震预警信息的拓展发布渠道,联合云南移动和云南电信明确了技术架构,设计了发布规则和发布流程,开发了“云

南地震预警”电视应用,地震发生后能在电视屏幕上以弹窗的形式显示满足地震预警发布条件的地震基本信息(发震时刻、震中位置、震级)、预测计算信息(本地预测烈度、预警时间倒计时)、避震提示及语音播报。

漾濞 $M_s6.4$ 地震是对云南 IPTV 发布地震预警信息的首次检验。震后电视预警正常发出,预警发布效果和宣传效果较好,使公众提前知悉地震来临,在一定程度上避免了恐慌,安定了民心。目前“云南地震预警”应用已推广覆盖云南移动和云南电信约 900 万 IPTV 用户,已有 20 万 IPTV 用户安装下载,是地震预警信息发布渠道拓展的一次成功探索,技术路线可应用于 IPTV 发布地震预警信息的具体实践中。

IPTV 地震预警信息发布还存在较多亟待完善的技术问题,需进一步优化方案、丰富手段、深入研究,提高电视预警信息发布的准确性、时效性和服务性,让电视预警信息更贴合用户的需求,更好地为人民群众提供应对地震逃生避险的预警时间;积极探索业务应用成熟的第三方平台预警信息发布渠道,充分利用各类传播渠道建立重大地震灾害预警信息全网发布机制,最大限度地保护人民生命财产安全、减少地震灾害风险,发挥好云南地震预警工程“先行先试”示范作用,切实提升云南省防震减灾公共服务能力。

参考文献:

- 李翔,许正学,王祥,等. 2020. 广播电视地震预警技术[J]. 广播电视网络,(1):22-24.
- 刘赫奕,宋晋东,李山有. 2020. ShakeAlert:美国西海岸地震预警系统发展[J]. 地震工程与工程振动,40(6):61-70.
- 刘文静. 2017. 基于 Android 平台电视机顶盒应用商店的设计与实现[D]. 秦皇岛:燕山大学.
- 杨程,解全才,刘泉,等. 2018. 日本地震预警系统发展历程[J]. 地震地磁观测与研究,39(4):126-134.
- Allen R, Melgar D. 2019. Earthquake early warning: advances, scientific challenges, and societal needs[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences,47(4):361-388.
- Chung A, Meier M, Andrews J, et al. 2020. ShakeAlert earthquake early warning system performance during the 2019 Ridgecrest earthquake sequence[J]. Bull Seismol Soc Am,110(4):1904-1923.
- Cremen G, Galasso C. 2020. Earthquake early warning: recent advances and perspectives[J]. Earth - Sci Rev,205:103184.
- Hoshiba M, Kamigaichi O, Saito M, et al. 2008. Earthquake early warning starts nationwide in Japan[J]. John Wiley & Sons Ltd,89(8):73-

80.
Peng C Y, Ma Q, Jiang P, *et al.* 2020. Performance of a hybrid demonstration earthquake early warning system in the Sichuan – Yunnan border region[J]. *Seismol Res Lett*, 91(2A):835 – 846.
- Peng H S, Wu Z L, Wu Yih – Min, *et al.* 2011. Developing a prototype earthquake early warning system in the Beijing capital region[J]. *Seismol Res Lett*, 82(3):394 – 403.
- Suárez G, Espinosa – Aranda J M, Cuéllar A, *et al.* 2021. Evaluation of the Seismic Alert System of Mexico (SASMEX) during the June 23, 2020, Oaxaca Earthquake ($M_w 7.4$) [J/OL]. *Natural Hazards* (10813):3085 – 3098.
- Zhang H, Jin X, Wei Y, *et al.* 2016. An earthquake early warning system in Fujian, China[J]. *Bull Seismol Soc Am*, 106(2):755 – 765.

The Yunnan Earthquake Early Warning System Based on IPTV and Its Application in the 2021 Yangbi, Yunnan $M_s 6.4$ Earthquake Event

WU Yanmei, ZHAO Zhirou, LI Min, JIA Zhaoliang, CAO Yanbo
(*Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, Yunnan, China*)

Abstract

The Yunnan Earthquake Early Warning System used to consist of 746 sets of early warning terminals. As a result, it has a limited coverage of early warning information, and low efficiency. In order to solve this problem, we selected the internet protocol television (IPTV) as the channel for issuing the earthquake early warning information, and supported by China Mobile Yunnan Company and China Telecom Yunnan Company, we designed the Yunnan Earthquake Early Warning APK, defined the technical framework, the release rules and process, and finally developed the TV application of the Yunnan Earthquake Early Warning. So far, the application of the Yunnan Earthquake Early Warning has been pushed to about 9 million IPTV users in Yunnan province, and has been downloaded and installed by 2 million users. When an earthquake occurs, the application will soon display the warning information such as magnitude, epicenter, original time, predicted intensity arrival time of the P – wave, emergency hedging in the form of pop – up window on the TV screen. In the Yangbi $M_s 6.4$ earthquake event, the application was tested and proved to be effective.

Keywords: TV early warning; earthquake early warning; release of early warning information; IPTV