

李晋恺. 制约我国地震预警技术发展的2个主要问题的探讨与解决方案[J]. 华南地震, 2017, 37(3): 90-97. [LI Jinkai. Discussion and Solution of Two Main Issues Restricting the Development of Earthquake Early Warning Technology in China[J]. South China journal of seismology, 2017, 37(3): 90-97.]

## 制约我国地震预警技术发展的2个主要问题的探讨与解决方案

李晋恺

(广东省地震局, 广州 510070)

**摘要:** 指出中国在地震预警领域的发展过程中, 面临的“台站密度不足”以及“预警信息发布不及时”两个问题, 并结合日本的先进经验, 提出“手机地震预警技术”和“有效实用的电视、手机预警信息发布技术”等建议和解决方案。

**关键词:** 地震预警; 台站密度; 信息发布; 手机

**中图分类号:** P315.7      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-8662 (2017) 03-0090-08

**DOI:** 10.13512/j.hndz.2017.03.013

## Discussion and Solution of Two Main Issues Restricting the Development of Earthquake Early Warning Technology in China

LI Jinkai

(Guangdong Earthquake Agency, Guangzhou 510070, China)

**Abstract:** The paper points out the two issues during the development of EEW in China, including “station density is not enough” and “the release of earthquake early warning (EEW) information is not timely” which. Basing on the advanced experience of Japan, the paper gives some suggestions, such as “EEW technology with the mobile phone” and “the effective technology about releasing the EEW information by TV and mobile phone”.

**Keywords:** Earthquake early warning (EEW); Station density; Information releasing; Mobile phone

### 0 引言

地震预警是指在地震发生以后, 抢在地震波传播到设防地区前, 向设防地区提前几秒至数十秒发出警报, 从而减少地震灾害带来的生命财产损失<sup>[1]</sup>。在地震预报仍是世界难题的今天, 地震预

警已经成为地震行业一个重要的发展方向。

2015年6月, 国家发改委正式批复“国家地震烈度速报与预警工程”建议书, 8月20日, “国家地震烈度速报与预警工程”建设启动会在北京召开, 这标志着世界最大规模地震烈度速报与预警网络的建设正式开始, 未来将建设世界上规

收稿日期: 2017-02-10

作者简介: 李晋恺 (1990-), 男, 工程师, 从事地震监测工作。

E-mail: liyeli3@163.com.

模最大、总数超过 10 000 个台站的地震烈度速报与预警观测网络。

而在地震科学领域处于领先地位的日本, 经过十几年的台站建设, 已经拥有了全世界密度最大的地震预警台网, 并且拥有着非常领先的地震预警信息发布技术。

在这样的大背景下, 本文指出我国地震预警技术发展过程中需要面对的两个问题: 地震台站密度不足、预警信息发布不够及时, 并结合日本地震预警相关技术的发展经验与现状, 提出相对应的建议或解决方案, 以期抛砖引玉, 为我国地震预警工程的建设做出些许贡献。

## 1 手机地震预警系统

截止 2016 年, 我国现有的地震观测台网包括由 167 个台站组成的国家测震台网(含缅甸、老挝 4 个境外国家台)、881 个台站组成的 32 个省级区域测震台网、27 个台站组成的 3 个地震台阵、33 个台站组成的 6 个火山台网、以及建设在印度尼西亚、巴基斯坦、萨摩亚等国的境外测震台网等<sup>[2-3]</sup>。

与此相对, 日本的地震监测系统主要由 5 大部分组成, 分别是 788 个台站组成的高灵敏度地震台网 Hi-net、1045 个台站组成的强震台网 K-net、697 个台站组成的基盘强震台网 KiK-net、83 个宽频带地震台站组成的宽频带台网 F-net 以及 205 个台站组成的日本气象厅(JMA)地震台网 JMA-net。基于上述台网的部分台站, 日本建成了“地震预警系统”, 大震以后依靠该系统快速地发布地震预警信息<sup>[4]</sup>。

通过简单的数字对比, 结合中日两国的国土面积, 可以发现, 即使建成总数超过 10000 台站的预警观测网络, 我国地震预警的台站密度与日本仍有差距。而台站密度对于地震预警的精度和速度具有巨大的影响<sup>[5]</sup>, 这也是我国积极推进国家地震烈度速报与预警工程的重要原因。

值得强调的是, 以日本现今的地震预警台网的密度, 运行地震预警系统仍然有不小的局限性。这种局限性主要体现在距离震源地区较近的地域。地震预警为了确保预警的精确性, 一般都是在复数台站监测出 P 波后, 才会发出预警。这种策略利用 P 波与 S 波的到时差, 可以使距离震源地较远的地区提早几秒甚至几十秒的时间得知地震的发生, 然后进行有效避难, 达到减灾的目的。但是它对于临近震源地的区域的局限性却很大, 距

离不远使得 P、S 波的到时差很小, 结果往往听到警报的时候地震已经来了, 这个问题与台站密度密切相关却又不能指望短时间内解决密度问题, 以及建设台站的成本问题。针对这个问题, 本文试图结合日本方面正在研究的手机地震预警技术<sup>[6]</sup>, 来说明利用此技术弥补台站密度不足所带来的局限性。

### 1.1 智能手机的地震波监测技术

近年来, 智能手机领域飞速发展, 很多原来只能在计算机上做的事情现在都可以由移动端的智能手机来完成。智能手机充分发展的硬件配置和操作系统的成熟与开放, 使得利用手机中的加速度计来监测地震波的设想成为了可能。

手机地震监测系统的设计初衷是用于弥补台站密度不足时, 近震源区域的预警问题。它能有效地确保系统持有者的人身安全, 更是为了减少行车事故这种二次灾害的发生。特别是在高速公路上行驶的车辆, 只要能在 S 波到来前 2 秒有及时警报, 行车的安全率就有非常显著的提高<sup>[6]</sup>。

以此为目的所设计的系统功能见图 1, 流程如下:

- (1) 在智能手机监测到超过阈值的加速度时, 把它所在的位置信息、时间信息以及加速度数值发送到用于处理预警信息的服务器中。
- (2) 服务器利用接收到的数据计算出震级以及震源地。
- (3) 在震级超过规定数值的时候, 自动向可能会受到地震波及的手机终端发出警报。

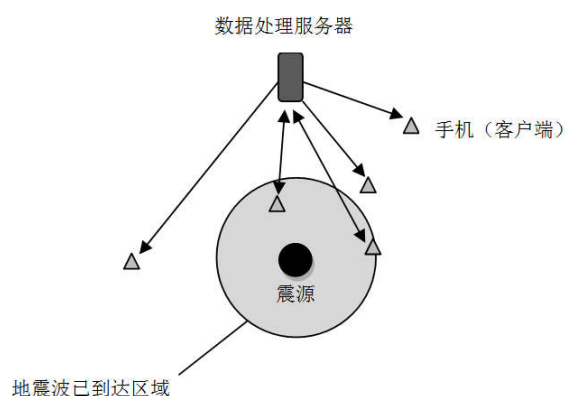


图 1 系统功能

Fig.1 System function

### 1.2 客户端的运作流程

- (1) 当手机的加速度计监测到超过阈值的加速度后, 进入发送待机模式。

(2) 将超过阈值的加速度数值、对应时间以及经纬度信息向服务器作第一次发送。

(3) 第一次发送后, 每间隔  $n$  秒 (可设定) 记录一次  $n$  秒间的加速度变化, 继而向服务器发送记录的数据, 然后进入下一轮的  $n$  秒记录, 直到指定次数 (可设定)。

(4) 服务器端在处理完收到的数据后, 若判断有大地震发生, 将会第一时间向该系统的用户发送警报。

### 1.3 服务器端运作流程

(1) 当接收到客户端发送来的数据时, 维持待机状态并把数据存入数据库。在同一个地区接收的数据超过一定数量后, 进入分析模式。

(2) 进入分析模式后, 综合待机模式时接收到的数据计算震级。

(3) 计算出的震级超过规定范围时, 向客户端发送警报。

(4) 警报发送后, 每隔一段时间会对后续收到的数据进行处理, 阶段性地提高地震预警的精度, 随后再次发送精度更高的警报。

### 1.4 可行性实验

很显然, 这个手机的地震预警技术的核心就是手机内置的加速度计, 加速度计记录的数据必须确实有效可用, 这个系统才能够成立。下面将引用文献[4]中的实验结果来说明它的可行性。

该实验内容是通过 QUANSER 的 XY Shake Table II 震动台进行 El Centro 地震的再现, 然后利用手机中的加速度计记录波形, 按照 5 Hz、20 Hz、50 Hz、100 Hz 来观察效果。

图 2 为振动台的实际波形, 图 3 为终端记录的 100 Hz 的波形。可以看到, 100 Hz 的波形可以很好地表现来, 但是每分钟的数据量大概是 50 KB, 在数据传输角度数据量偏大。

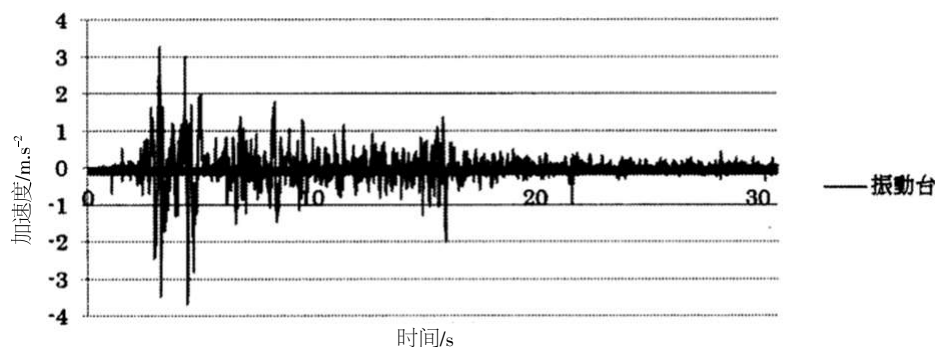


图 2 振动台的波形

Fig.2 Waveform of vibration table

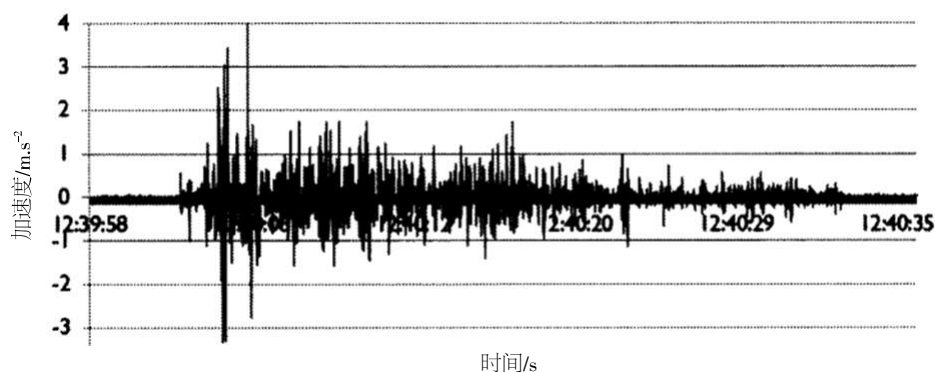


图 3 终端 100 Hz 的波形

Fig.3 The 100 Hz waveform of terminal

图 4 是 50 Hz 的波形, 可以看到波形还是比较清晰的。但是下降到 20 Hz、5 Hz (图 5、图 6) 时, 记录的波形已经不太清晰了, 它们对应的数据量是 8 KB 和 3 KB。但在之前的研究中<sup>[6]</sup>, 这个

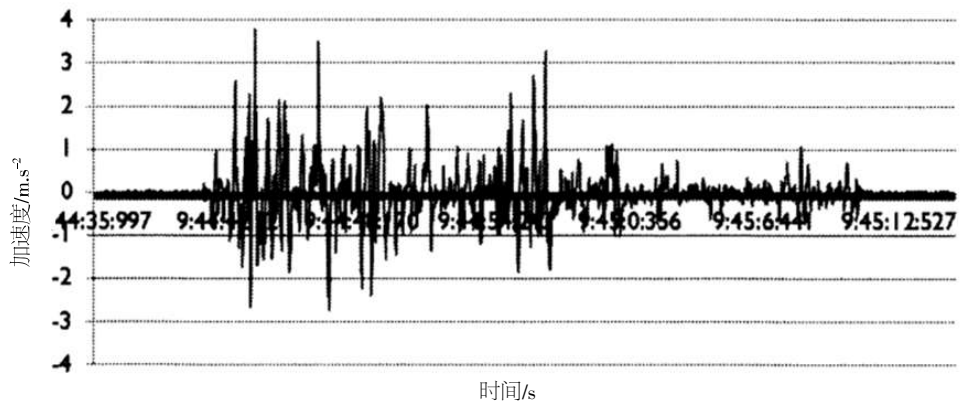
频率的波形在监测大地震的时候还是可以发挥作用的。所以尽管在 5 Hz 下很难取得有效波形, 但是仅仅在监测“有无地震发生”这一点上, 还是可以作为辅助数据发挥作用的。该实验很好地体

现出手机内置的加速度计用于观测地震波的能力，为后续的编程算法开发提供了很好的基础。

在上述实验里，我们可以看到，利用手机内置的加速度计来实现手机地震预警是完全有可能的，从加速度计中得到的数据经过特定算法计算后，很有可能达到小范围内的地震预警效果。

而在国外，已经有许多相关软件的开发、实验以及试运行。这类软件主要有 CSN (Community

Seismic Network), shake, QDS (Quake Detection System)以及 MyShake。其中 shake 和 QDS 系统与上文中的采取的策略类似，利用加速度幅值是否达到阈值来判断是否有地震发生。而 MyShake 作为该领域最新的研究成果，更是利用手机加速度数据以及区域地震台网加速度数据通过算法进行分类，以达到对地震场景的识别，提高预警的准确度<sup>[11]</sup>。



从理论分析到实验可行性,再到国外的研究现状,不难看出手机地震预警这项新兴技术具有巨大的潜力和开发空间。而且,该技术在弥补地震台站密度不足时的地震预警局限性方面有很大的价值,针对我国目前可用于地震预警的台站密度不足的问题,手机地震预警技术可以有非常好的补足效果。

结合我国的现状,我国的地震预警工程的起步时间较晚,这是挑战也是机遇。诸如日本、美国这些地震预警领域起步较早的国家,它们在建设预警台站时期,手机并没能达到地震预警的设备要求,所以手机地震预警技术可以说全世界都是刚刚起步不久。在这个背景下,我国完全可以把手机地震预警技术的研发和预警台站的建设作并行处理,同时发展这两项具有互补作用的技术,可以预见手机地震预警技术在不久的将来会成为地震预警领域的一个重要组成部分。

## 2 地震预警的信息发布

### 2.1 地震预警信息发布的时效性

在上文的探讨中,我们可以了解到时间对于地震预警的重要性,哪怕警报早发出一秒,都可能让很多人幸免于难。在这种背景下,除了从加快地震预警信息产出的角度,很显然及时的地震预警信息发布也非常重要。

而在我国,法律层面上仍未对地震预警信息的发布主体和利用等相关内容进行说明和规范<sup>[2]</sup>,这也使得国内的地震预警信息发布工作困难重重。在国外,自然灾害的预警工作是由灾害监测和管理部分负责的。例如在日本,日本气象厅专门负责收集和处理所有地方得到的观测数据,并在地

震发生时及时准确地发布地震信息,包括地震预警的警报<sup>[6]</sup>。

显然,完善地震预警相应的法律法规是当务之急。相信在积极推进国家地震烈度速报与预警工程的背景下,相关法律法规的出台只是时间的问题。而留在我们工程科研人员面前的,是法规出台后,如何及时发布地震预警信息的问题。

地震预警信息发布主要的载体是电视、网络、手机、收音机,而在这一方面刚刚起步的我们,可以参考借鉴日本的运作模式。

### 2.2 电视地震预警发布

#### 2.2.1 日本 NHK

当日本的地震预警系统可以投入实用的时候,日本人开始把眼光放在预警信息发布上,而电视机这种在家庭室内警报方面得天独厚的载体,得到了相当高的重视。所以日本通过立法把 NHK (日本放送协会) 定义为《国家指定公共机构》,赋予 NHK 发布地震预警信息的权利,并强调它同时肩负着保护国民生命财产的义务。

具备了相应法规许可后, NHK 很好地完成了预警信息发布的任务。在接收到日本气象厅的地震预警后,做到了全自动完成电视和收音机发布地震警报工作。预警发布流程如图 7 所示,从日本气象厅的地震预警系统中产出的警报数据,先传输到 FEP (Front End Processor),经由 FEP 再传输到全国的电视台。当电视台的地震预警发布服务器接收到来自 FEP 的数据后,立刻启动预警程序,后续的图像编辑由软件自动完成后,最终再通过人工的方式用紧急新闻桌(设立于电视台内部,专门负责灾难预警信息播报的设备,如图 8) 确认发布<sup>[6]</sup>。

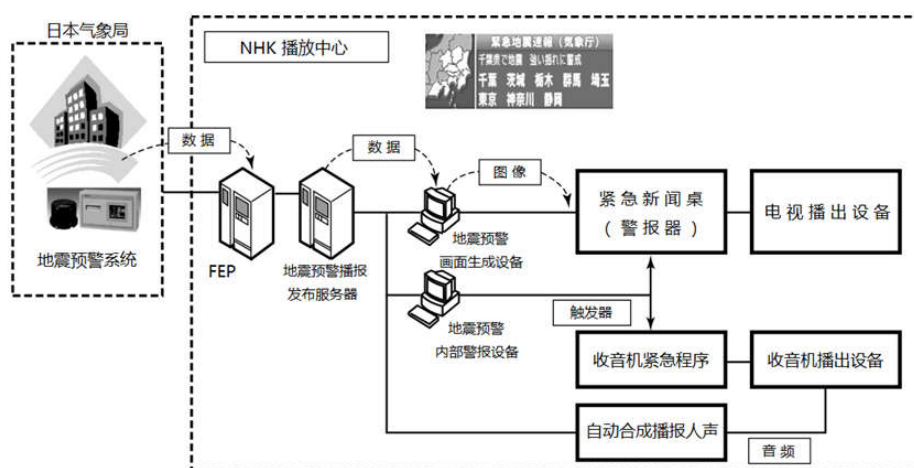


图 7 NHK 地震预警发布流程

Fig.7 EEW release process of NHK



图8 紧急新闻桌

Fig.8 Emergency news desk

在图9中可以看到日本电视地震预警的效果图，值得注意的是，图中的地震预警信息图是独立插入电视台原本播放的内容中的，与原本的内容并行播放，这种播放策略可以确保电视台能够第一时间发布地震预警信息，满足地震预警对时效性的高要求。



图9 电视发布地震预警信息效果图

Fig.9 EEW Information released by TV

综合以上内容，日本这套电视预警系统主要有两个值得我们学习和借鉴的地方：

(1) 基于FEP的数据传输系统。在电视地震预警这个领域，首先需要面对的问题就是不同地区不同电视台的统筹和协调。通过FEP服务器对地震预警信息的预处理，判断出需要发布警报的地区电视台，完成精准高效的数据传输工作，很好地避免了警报混乱的情况。

(2) 高自动化的预警播报系统。日本这套电视预警系统已经做到了高自动化操作，整个预警过程只有在最后一步确认发布预警信息上需要人工操作，此前的所有准备和制作工作皆由程序自动完成。这种高自动化的执行流程大幅度地缩短了发布预警信息所需要的时间，在地震预警这个争分夺秒的领域，自动化操作无疑是重中之重。

### 3.2.2 国内的现状与展望

目前国内的电视地震预警技术还处于尝试和摸索的阶段。四川省北川县在2013年开始了电视地震预警系统的试运行，这是国内第一个试点。虽然该系统只是建立在北川地震烈度速报系统基础上的一次尝试，但结合了“5.12”大地震余震区700余个试验台站和龙门山地震带700余个试验台站数据后，已经可以做到2.7级以上地震无漏报，预警结果较稳定可靠<sup>[13]</sup>。

信息发布方式则采用“滚动字幕与弹窗结合”的方式。预警信息首先以滚动字幕的方式在电视屏幕下方播放，只有在有破坏地震发生时，会以弹窗形式播放预警信息。

值得一提的是，北川防震减灾当局的数据表示：对来自茂县周边的地震，民众有10多秒的逃生时间；而来自汶川的地震，则有超过30秒的时间逃生。由此可见，我国在预警技术上已经初成气候，因此我们更应大力发展预警信息发布技术，更好的保护人民的生命财产。

本文认为这种试点尝试无疑是一个很好地开始，县级这种小区域预警试行成功后，接下来要面对的就是市级、省级的电视地震预警工作部署。当预警面向的区域扩大后，要面临的各种问题也会接踵而来，而四川省的地理面积和台站部署密度都与日本相近，也同样处于地震活跃地区。在这种背景下，日本的电视地震预警模式将会是我们很好的学习对象。

## 2.3 手机地震预警发布

### 2.3.1 日本目前使用的手机预警发布方式

在全面进入信息时代的今天，手机几乎成为了人们出门的标配，所以手机很自然地也成为了地震预警信息发布的主要载体。在第2节中我们曾经探讨过手机辅助地震预警的可行性，但那毕竟只是一种可挖掘的发展方向，现阶段的手机更多的还是作为预警信息发布的载体。

同样的，我们先看看日本方面采用的策略。日本的手机预警信息发布主要采用两种方式：app推送警报和移动通信运营商警报<sup>[7]</sup>。

(1) App推送警报的方式如图10所示，值得注意的是，日本采取的app推送里面有一个“事前登记”的步骤，这个步骤用于登记手机的IP地址，以便服务器确定该手机所在区域，只有在该区域有地震预警时，才会向区域内手机的app发送警报信息。



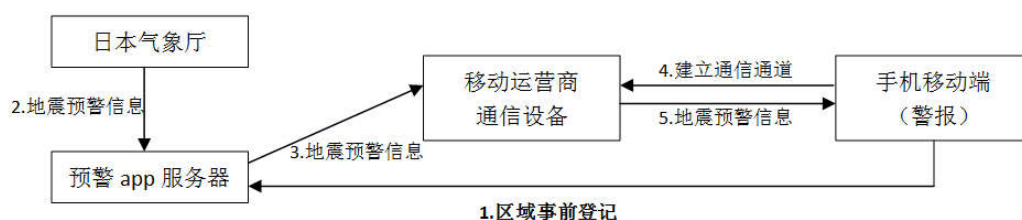


图 10 app 推送警报

Fig.10 App pushing alarm

(2) 移动通信运营商警报(图 11)则更为简单高效,通过授权移动运营商发布预警信息的权利,在运营商接收到日本气象厅的地震预警信息后,通过自己的通讯线路,可以直接对特定区域的终端进行“统一呼叫”,以此达到警报的效果。因为运营商可以通过自身基站等设备确定警报终端的范围,所以不需要提前登记手机 IP,比起 app 推送的方式更为简单直接。

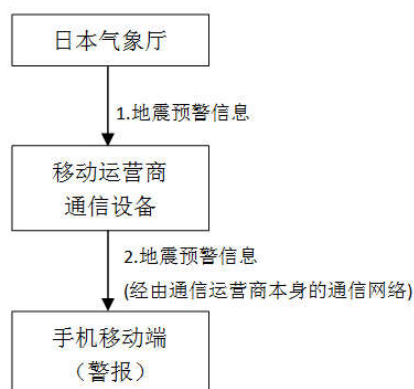


图 11 移动通信运营商

Fig.11 Mobile communication operator

从日本现有的两种手机预警信息发布方式中,可以清楚看到地震预警信息发布在技术上的要求。预警信息的发布对象是身处地震影响区域的用户,这就要求它在技术上满足“获取用户位置信息”的条件,针对性地向真正需要接收警报的用户发送地震预警消息,可以有效缩短选取预警信息发布对象的时间,提高预警发布效率,这是我们值得关注和重视的地方。

### 3.3.2 国内的现状与展望

(1) 虽然国内在手机地震预警信息发布这一块仍未有过多的尝试,但是目前已经出现了基于 app 的地震速报消息推送服务——《地震信息微信自动发布系统》<sup>[8]</sup>。

2016 年底,微信的月活跃用户已达 8.89 亿。从微信的诞生到现在短短 6 年的时间里,它已经从一个小小的网络社交工具变成的如今的国民级 app。现在的微信毫无疑问是中国人获取资讯信息的一个主要来源。而在地震行业,微信也正在慢慢成为政府和地震部门发布信息的重要媒介平台。

目前微信在我国 app 行业的这种统治级情况,正是他国所暂缺而我们地震行业可以很好利用起来的重要资源。巨大的用户数的保证确保了它在所谓紧急信息发布载体的可行性与有效性。

《地震信息微信自动发布系统》则是在国内这样的背景下应运而生的基于微信的信息发布系统。该系统的主要功能是地震发生后,从地震速报系统得到地震三要素并以图文并茂的方式推送给“48 小时活跃的关注用户”。

“48 小时活跃的关注用户”是该系统提出的一种用户定位。该系统把用户分成普通活跃用户与 48 小时活跃用户。所谓 48 小时活跃用户指的是用户给公众号发送的最后一次消息(文字、图片、视频、地理位置、菜单互动)开始的 48 小时之内。这种定位的目的是区分出核心用户,并对核心用户提供地震信息推送服务。这种做法既可以避免普通用户由于推送信息过多而取消关注所造成的用户流失,又可以为核心用户提供更好的服务。这种区分方式正是日后手机预警信息发布技术可以借鉴学习的。

那么在手机地震预警信息发布这个领域,是否也可以沿用微信推送这种方式呢?答案是肯定的,但是需要增加上文提到的“获取用户位置信息”的功能,只有这样才能确保预警信息的有效和高针对性。

(2) 然而仅仅使用 app 推送的方式发布地震预警信息显然是不够的,app 推送服务的缺陷在于它需要手机联网才可以完成,而地震预警的特殊性要求在短时间内向尽可能多的民众发出警报,

app 推送方式在这一点上存在明显的局限性。

为了弥补这方面的局限性,移动通信运营商的作用就体现了出来。在了解日本的手机发布策略的时候我们可以发现,当移动运营商介入地震预警信息发布后,基于自身的设备优势,对发布信息的效率起到的巨大推进作用,同时也可以很好的弥补 app 方式的空缺,这一点得益于日本的法律赋予了移动通信运营商相关的发布权限。当国内相关法律完善后,地震行业如果能及时与国内的三大运营商进行沟通合作,对于手机地震预警信息发布的工作将会有很好的推动作用。

### 3 结语

对于我国地震预警工程建设过程中,会面临的两个问题——地震台站密度不足、预警信息发布不及时,本文结合日本的先进经验,给出了可行的建议和解决方案。

(1) 通过对比我国与日本的地震台站的密度差距,以及日本以目前台站密度进行地震预警的现状,引出了预警台站密度不足制约着地震预警技术发展这一主要问题,进而提出关于手机地震预警技术的设想。

随后,本文引用日本方面做过的手机加速度计实验说明了手机地震预警的可行性以及可操作性。针对我国目前地震预警台站密度不足这一问题,手机地震预警技术可以很好地弥补由此问题所带来的地震预警局限性。

本文还提到国外现阶段在该领域的火热研究,强调手机地震预警技术的巨大潜力与发展空间。该技术若能真正推广实用,对于改善国内目前地震台站密度不足的问题将会有很好的效果。

(2) 对于国内地震预警信息发布不够及时这个问题,本文先是从国内法律法规的角度分析该问题的主要成因。同时也从技术角度,论述了日本在电视和手机预警信息发布方面的先进性以及可借鉴的地方。

通过加入智能高效的数据传输方案 FEP 以及使用高自动化的预警信息生成程序,以此来提高大范围区域电视地震预警的速度和协同性。

在手机地震预警发布方面,提前获取预警对象的位置信息可以有效缩短发布预警信息时选取对象的时间,提高效率。在此基础上,如果能加入移动通信运营商的设备支持,将会使手机预警信息发布效率明显提升。

### 参考文献:

- [1] 袁志祥,单修政.地震预警技术综述[J].自然灾害学报,2007,16(6):216-223.
- [2] 蒋长胜,刘瑞丰.国家地震烈度速报与预警工程——测震台网的机遇与挑战[J].工程研究——跨学科视野中的工程,2016,8(3):250-257.
- [3] 隗永刚,张爽.日本 Hi-net 台网的台站选址与设计[J].国际地震动态,2017,2(458):16-23.
- [4] Taiki UGA, Tomotaka NAGAOSA. A study on detection of seismic waves using a smartphone [J]. IEICE Technical Report, 2012(112):43-47.
- [5] 宇賀大貴,永長知孝.加速度センサ搭載端末を用いた地震波検出に関する検討[D].关东学院大学,2012.
- [6] 有森英明.緊急地震速報システム整備概要[J].電気設備学会誌,2008,28(7):432-435.
- [7] 田中威津馬,青柳健一郎,ウメシュ・アニール,等.次世代通信ネットワークにおける緊急情報の同報配信高度化[J].NTTDOCOMO テクニカルジャーナル,2009,17(3):21-26.
- [8] 叶佳宁,何霆.地震信息微信自动发布系统的设计与实现[J].华北地震科学,2014,32(4):23-28.
- [9] Elizabeth S. Cochran, Jesse F. Lawrence, Carl Christensen, et al. The Quake? Catcher NetWork: Citizen Science Expanding Seismic Horizon [J]. Seismological Research Letters, 2009, 80(1):26-30.
- [10] 香川敬生.携帯電話を用いた三段階震度計の提案[C]//日本地震学会.日本地震学会 2009 年度秋季大会講演予稿集,2009(180):1-59.
- [11] Qingkai Kong, Richard M Allen, Louis Schreier, et al. MyShake: A smartphone seismic network for earthquake early warning and beyond [J]. Sci. Adv.2016, 2(2): e1501055. doi: 10.1126/sciadv.1501055.
- [12] 陈旭,张力文.地震预警信息发布体系与应对策略研究[J].电子科技大学学报,2014,16(1):6-10.
- [13] 田明霞.北川启用电视地震预警系统[N].中国民族报,2013/01/18(001).