

地震科技前沿快报

2021 年第 4 期（月刊总第 28 期）

中国地震局科学技术委员会
中国地震局科技与国际合作司

中国科学院兰州文献情报中心
中国科学技术信息研究所

本期概要

- 1、MyShake 智能手机地震网络用于全球地震预警：模拟平台和检测算法
- 2、MyShake 智能手机地震网络用于全球地震预警：认识 MyShake 的全球表现
- 3、地震网项目：用于地震预警、影响快速评估与搜救的平台

MyShake 智能手机地震网络用于全球地震预警：模拟平台和检测算法

MyShake 项目旨在建立一个全球智能手机地震网络，通过众包的力量来促进大规模地震预警和其他应用。来自美国加州大学的三位研究者提供了一个模拟平台和一个网络检测算法来测试世界各地不同地点的地震场景，他们提出的网络检测算法在经典的基于密度的空间聚类算法的基础上，结合了噪声空间聚类算法，并考虑了对时间特征等的修正。研究者使用 MyShake 用户在 2018 年 1 月 4 日伯克利（Berkeley）4.4 级地震和 2016 年 6 月 10 日博雷戈斯普林斯（Borrego Springs）5.2 级地震期间产生的真实数据来测试网络检测算法，以演示系统的实用性。为了测试整个检测过

程，研究者建立了一个软件平台，可以在假定的 **MyShake** 网络中模拟地震触发。相关成果发表在 2020 年 7 月的 *Seismological Research Letters* 上。

地震早期预警（**EEW**）是使用地震检波器网络在地震开始后快速确定地震的位置和震级，并向预计会发生地震的地区发出警报的技术。移动加速度计技术的发展意味着智能手机正成为固定式地震仪的可行替代品。**MyShake** 是加州大学伯克利分校地震实验室开发的一款智能手机应用程序，用于监测智能手机加速度计数据并探测地震。为了系统评估 **MyShake** 网络对 **EEW** 的潜在贡献，研究者构建了一个模拟平台和一个网络检测算法，以期了解 **MyShake** 网络的性能。

该模拟平台建立在 **MyShake** 观察数据之上，它可以模拟触发时间和地面加速度值。每个手机报告的地点、时间和地面运动将被提供给一个网络检测算法，该算法首先确定是否发生了地震，然后使用触发信息来估计地震的位置和震级。一旦确定了地震的位置，系统就会估计地震强度 ≥ 4 的区域的半径，从而可以发布预警。最后，研究者利用 2016 年 6 月加州博雷戈斯普林斯 5.2 级地震和 2018 年 1 月加州伯克利 4.4 级地震期间，从运行 **MyShake** 的设备收集的真实数据对网络检测工作流程进行了测试。

模拟平台

如图 1 所示，模拟平台由几个组件组成，模拟 **MyShake** 手机网络及其地震响应的机制。它提供了重点区域的坐标，安装了 **MyShake** 应用的区域人口比例，以及要模拟的地震参数（位置、起始时间和震级）。在模拟的每个步骤，每个设备上的地面加速度值会被估计，并用于确定设备（具体指 **MyShake** 应用）是否会被触发。以下，先介绍 **MyShake** 模拟工作流程的每个组件，从如何对总体样本进行抽样，到用网络检测算法在设备上模拟触发。

(1) 抽样人口。在每次模拟之前，需要确定模拟 **MyShake** 网络的空间分布。这是通过输入有意安装 **MyShake** 应用程序的地区人口比例来实现的。目前默认值为 0.1%。然后，用户位置通过区域内 1 km× 1 km 网格的随机抽样单元找到，抽样概率由该单元中的总体加权确定。一旦一个单元被识别，模拟装置的坐标就从单元内以均匀分布的形式被绘制出来。

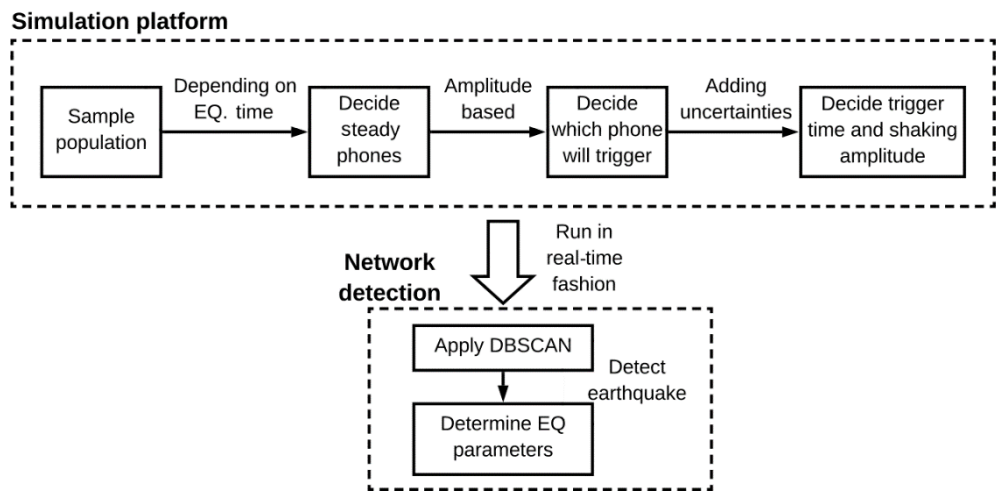


图 1 **MyShake** 模拟平台和网络检测算法的工作流程

(2) 确定稳定的手机源。在目前的 **MyShake** 部署中，手机必须静止 30 分钟才能开始监测地震震动。研究者给定要模拟的地震的起始时间，使用一个基于现有全球 **MyShake** 网络数据的关系来估计稳定的活动设备的比例。在每 24 小时的周期中，稳定超过 30 分钟的 **MyShake** 设备的比例变化显著，反映了网络的时间和动态特性。结果表明，用于夜间监测地震的稳定手机数量比白天多。这种差异被编码到模拟平台中。

(3) 确定哪些手机将被触发。采用基于振幅的方法确定当前模拟平台中各个手机的触发机制。使用前人开发的距离-震级关系估计每个设备上与 P 波和 S 波相关的地震动加速度，该关系给定地震震级和距离，分别返回估计的 P 波和 S 波分布的平均值和标准偏差。

然后，从正态分布关系中对地面运动进行采样。如果设备上报告的地

面加速度值超过 $0.01g$ ，手机的触发概率为 0.8 。在这个阈值以下，手机的触发概率由 $p = \text{振幅}/0.01$ 确定。对真正的 MyShake 触发的分析表明，通过计算在触发 2 秒内垂直分量上记录的最大振幅和水平分量上记录的最大值间的比率，可以区分手机是否在 P 或 S 阶段被触发。

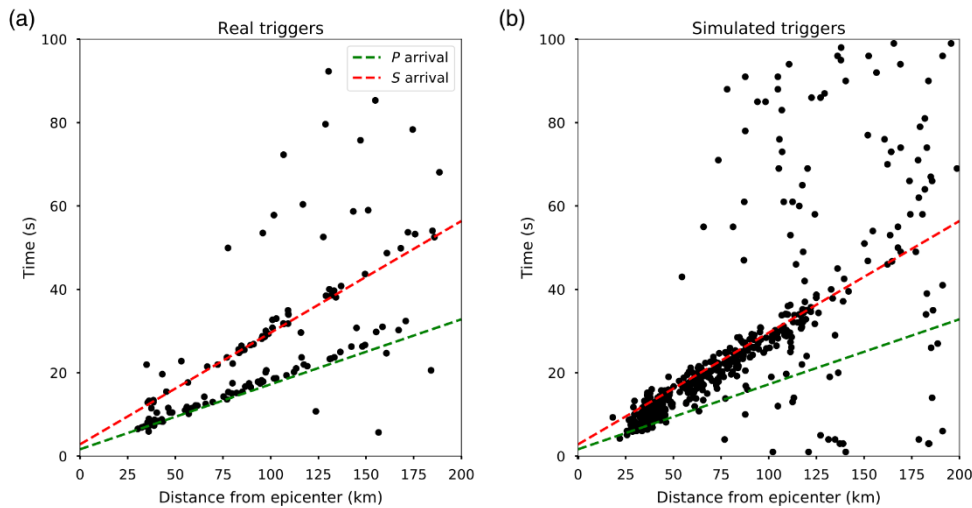


图 2 2016 年 6 月博雷戈斯普林斯 5.2 级地震的实际触发时间(a)和基于震中距离函数的模拟触发时间

(4) 确定手机触发时间和振幅。在半空间模型中，假设 P 波和 S 波速度分别为 6.10 km/s 和 3.55 km/s ，这可以确定相位到每个设备的传播时间。这种简化给出了系统性能的一阶估计。图 2 显示了在 2016 年南加州博雷戈斯普林斯 5.2 级地震期间 MyShake 设备记录的触发次数与模拟的触发次数的比较。很明显，模拟平台能够捕获 MyShake 网络如何响应事件的一般特征。然而，在较远的距离上，模拟平台简单的基于振幅的方法比 MyShake 手机使用的人工神经网络 (ANN) 算法丢失更多的 p 波触发。

网络检测算法

来自被触发手机的触发时间、地点和地面加速度值被用来：①确定网络正在经历地震；②如果发生地震，尽快估计它的位置，起源时间和震级。

(1) 基于改进的 DBSCAN 聚类的网络检测。网络检测工作流的任务是使用模拟或真实的触发信息来快速检测正在发生的地震，然后确定其起源时间、震级和震源参数。网络检测问题本质上是一个实时时空聚类问题。研究者应用了一种改进版的基于密度的空间聚类机器学习算法——具有噪声的基于密度的聚类方法（density-based spatial clustering of applications with noise, DBSCAN）提高地震定位的精度。DBSCAN 算法有两个参数：epsilon（一个半径参数）和 min_samples（用于设置激活单元的最小数量的参数）。此外，检测算法使用了几个用户自定义的参数，这些参数有可能对其在现实世界中的性能产生重大影响。

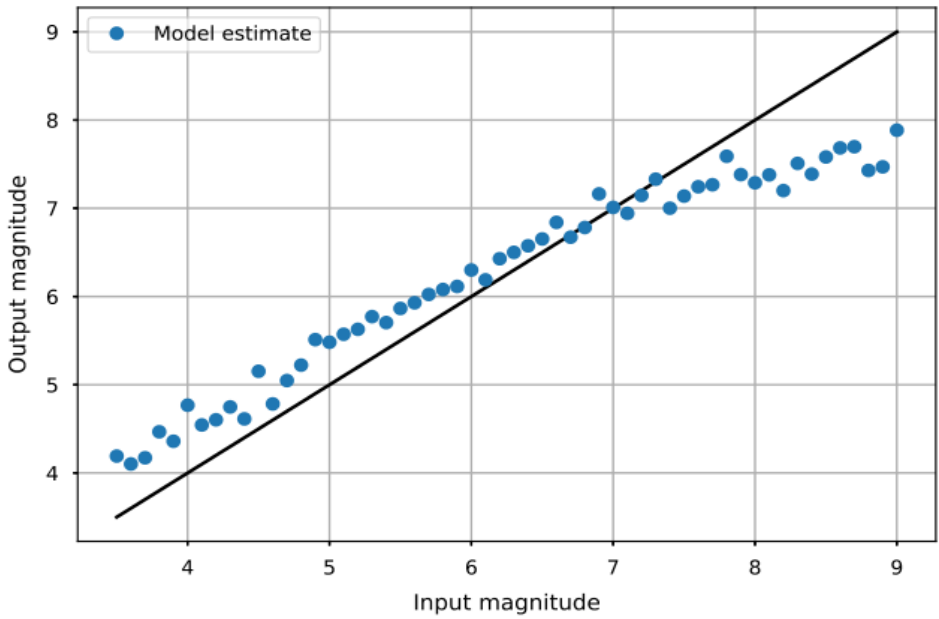


图 3 通过震级估计工作流程所估计的事件震级

(2) 地震的位置、发生时间和震级。每个单元格集群都包含可用于定位地震的触发。一旦确定了地震的位置，就可以确定它与每次触发的距离，并通过将距离和地面加速度值提供给随机森林回归器（random forest regressor）来估计其震级。

研究发现，为 P 波触发和 S 波触发训练两个单独的随机森林模型会产

生最好的结果。图 3 说明了这种振幅估计方法的性能。这些模型在 6.5 级地震时表现良好，但在低震级时模拟结果偏高。

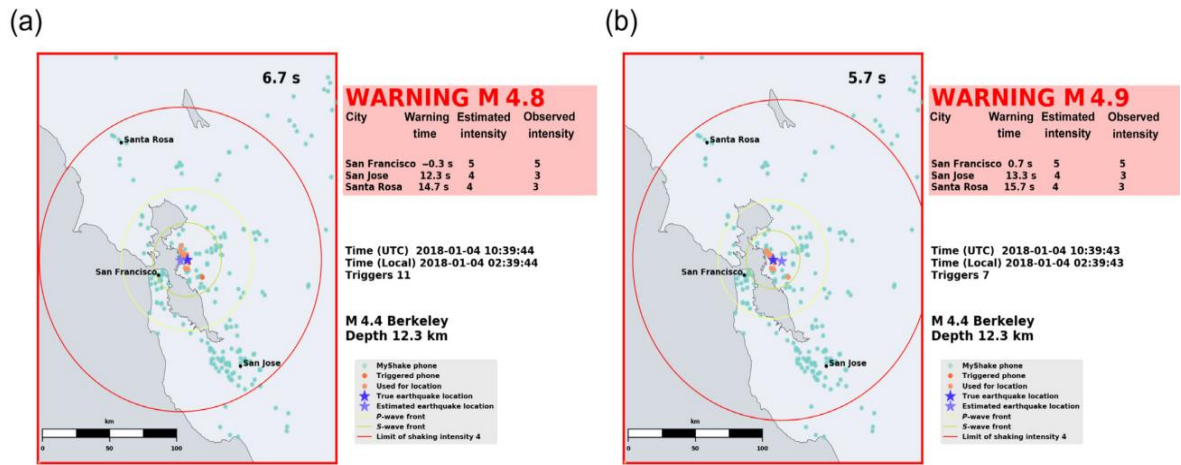


图 4 网络检测算法的初始性能，使用真实的 MyShake 触发来检测和定位 2018 年 1 月的 4.4 级伯克利地震

研究发现，为 P 波触发和 S 波触发训练两个单独的随机森林模型会产生最好的结果。图 3 说明了这种振幅估计方法的性能。这些模型在 6.5 级地震时表现良好，但在低震级时模拟结果偏高。

(3) 现有 MyShake 网络记录的地震。伯克利地震就发生在市区的正下方。图 4 显示了第一次警报时的快照，以及地震的初始位置和震级估计。因为安装 MyShake 的密度相对较高的手机在伯克利，因此将网格分辨率改为 1×1 km，所需稳定手机数量改为两部。通过这种改进，第一次警报在事件发生 5.7 秒后发出，旧金山和圣何塞中心分别在 0.7 秒和 13.3 秒发出警报。这说明需要根据网络的密度为不同的区域设置一个自适应阈值。

博里戈斯普林斯地震对网络检测算法提出了一个更具挑战性的测试，因为它发生在棕榈泉以南约 50 km 的偏远地区，所有初始触发都在那里。尽管存在这些挑战，但使用其默认设置，网络检测算法表现相对较好，定位地震的初始误差约为 14 km，震级低估了 0.3 个震级。向棕榈泉提供了 5.5 秒的预警时间，圣地亚哥附近的居民收到约 40 秒的预警。

来源: Kong Q, R Martin-Short. & R M Allen. Toward Global Earthquake Early Warning with the MyShake Smartphone Seismic Network, Part 1: Simulation Platform and Detection Algorithm. Seismological Research Letters, 2020, 91: 2206-2217.

MyShake 智能手机地震网络用于全球地震预警：认识 MyShake 的全球表现

MyShake 项目旨在建立一个全球智能手机地震网络，利用众包的力量推动大规模地震预警（EEW）和其他应用。MyShake 手机应用程序首先在一部手机上检测地震震动，然后在 MyShake 服务器上使用“网络检测”算法确认地震，该算法会被多个手机检测激活。美国加州大学伯克利地震实验室研究人员在一个由两篇文章组成的系列中的第 2 部分，报告了 MyShake 在世界各地不同选址的地震预测性能的一阶表现。由于 MyShake 网络目前在世界大部分地区的稀疏性，他们使用自己的模拟平台来了解和评估该系统在各种构造环境下的性能。假设每个地区 0.1% 的人口在他们的智能手机上安装了 MyShake 移动应用程序，使用过去 20 年的历史地震来模拟不同地区不同网络配置下的触发场景，然后，用这些模拟触发器来运行检测算法以了解系统的性能。结果表明，该系统对具有高人口密度的、陆上地壳地震（ $M < 7$ ）表现最佳。这种情况下，警报可以在初始时间约 4~6 秒之后生成，震级误差在 0.5 震级单位内，震中与真实位置误差通常在 10 公里以内。当地震发生在近海或人口稀少地区时，预警速度会变慢，震级和地点的不确定性会增加。此外，即使只有 0.01% 的人口是 MyShake 的用户，在人口密度高的地区，该系统仍能很好地应对大于 5.5 级的地震。模拟平台和网络检测算法的详细信息可以在该系列文章的第 1 部分中获得。相关成果发表在 2020 年 7 月的 *Seismological Research Letters* 上。

MyShake 旨在将用户的智能手机变成便携式地震检波器，用于监测和记录全球地震。这款手机应用程序监控设备内部的加速度计，并使用经过训练的人工神经网络来探测地震运动。随着在 2016 年 MyShake 对公众开

放，来自世界各地的用户可以提供地震数据，这使各种地震和土木工程应用成为可能。**MyShake** 项目的一个具体目标是建立一个全球地震早期预警系统，以减少地震的危害。因此，该系列两篇文章的目的是设计一个模拟平台，以评估在相当用户密度情况下 **MyShake** 网络在世界各地不同位置的性能。此外，还设计了一种网络检测算法，通过考虑手机在时间和空间上的触发群集来检测地震。

在这个两篇文章系列的第一部分中，研究者介绍了一种新的网络检测算法的设计，并描述了一个模拟平台，可以用来估计和评估 **MyShake** 在不同配置下的性能。在本文中，他们对全世界一系列地震多发地区的所有自 1980 年 1 月 1 日以来的 $M>4.0$ 的历史地震进行模拟，包括加利福尼亚、新西兰、尼泊尔、中美洲、海地、和印尼苏拉威西岛等地区。选择这六个区域是因为它们代表了较大范围的构造环境、人口分布和社会经济发展程度，另外，每个地区近些年都受到了重要地震活动的影响。

每个地区，假设总人口的 0.1% 在他们的智能手机上安装了 **MyShake** 应用。这个数字大概是洛杉矶地区到目前为止下载了 **MyShake** 应用程序的人口比例。这类模拟允许研究人员评估网络检测工作流在每个用户密度区域的一般性能，确定可检测事件的空间和强度分布，并报告他们预期的警告时间和位置错误。同时，研究者还对每个地区最具破坏性的单一事件进行了 200 次模拟，这提供了在对不同人口进行取样时，对这些事件可能预期的震源时间、震中位置和震级的误差分布。此外，研究人员还描述了在 **MyShake** 用户使用占人口 0.01% 的地区进行的测试的结果。

为了评估使用 **MyShake** 网络的潜在好处，在全球范围内，研究人员使

用世界各地的历史事件执行一套模拟,如图 1 所示。主要强调了六个区域,对于每个地区,研究者使用 MyShake 触发生成工作流 (trigger generation workflow) 为 1980 年 1 月 1 日至 2019 年 4 月 1 日期间的所有震级大于 4.0 的事件生成触发器,并假设 0.1% 的人口在运行 MyShake 移动应用。然后,将每个事件的模拟触发器提供给网络检测算法,并指示该算法报告第一次警报的事件参数的估计值。这里使用的所有历史地震震级都以 Mb 为单位进行测量,并通过向地震局请求获得国家先进地震系统 (ANSS) 综合地震目录,其由美国地质调查局 (USGS) 提供。通过这种方式使用历史目录,研究者可以评估每个地区事件的典型震级范围和人口中心的邻近程度,从而评价系统的性能。

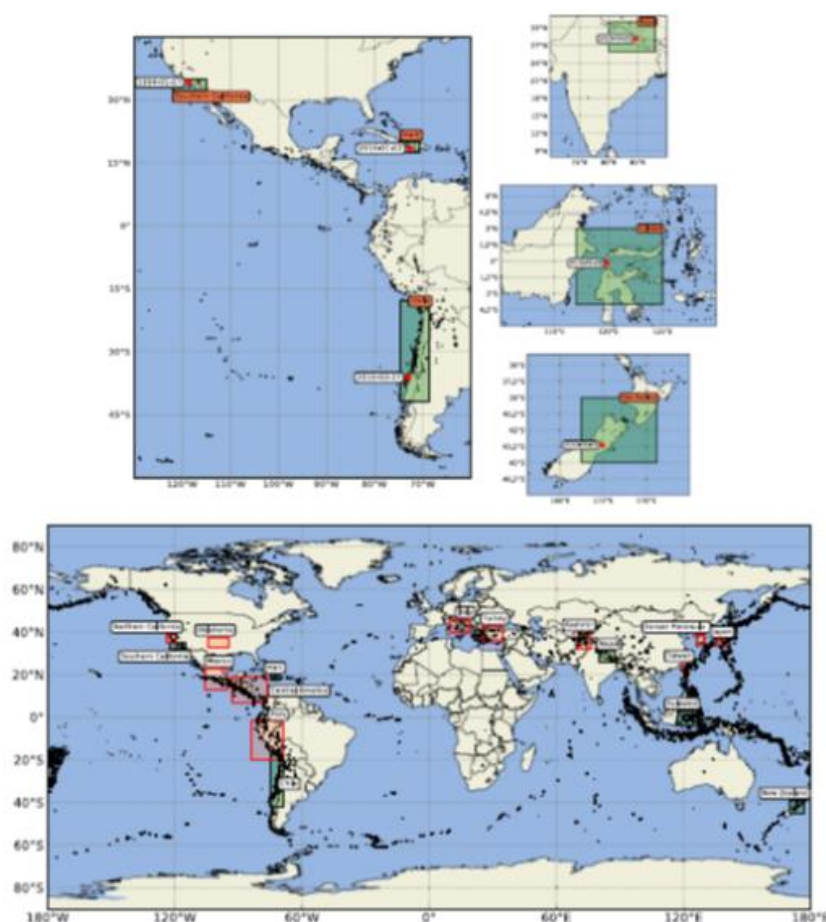


图 1 进行 MyShake 模拟平台测试的地区

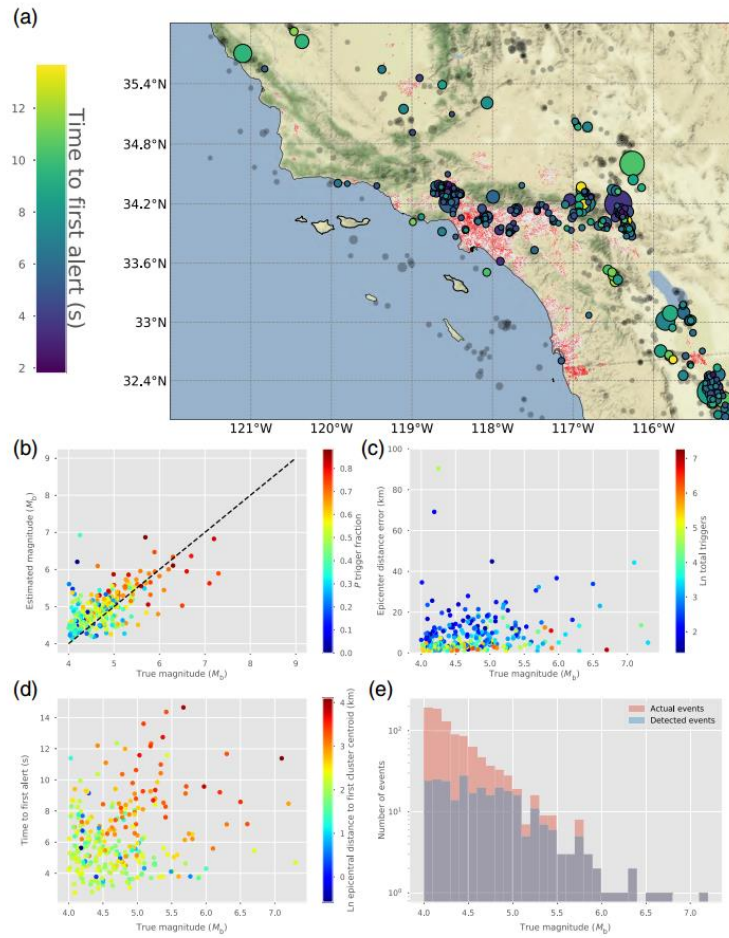


图2 南加州的模拟结果

构造环境、人口分布和社会经济发展水平，这三个因素以一种复杂的方式结合在一起，决定了 **MyShake** 作为一个地震预警系统在每个地区的有效性，而所选择的每一个地区最近也经历了一个重大的破坏性事件。为了评估人口抽样中内置的各种不确定性的综合影响、触发生成工作流，以及系统性能的稳定性的稳定性，研究者对每个大事件进行了 200 次模拟，并报告了位置、震级和时序误差的分布。这一点很重要，因为在计算设备层面的触发时间和地面加速度计算时所考虑的不确定性，代表了对 **MyShake** 设备在实践中的最佳理解。需要注意的是，为了简单起见，研究者将这些事件建模为点源，而表面上它们并不是点源，这意味着在实践中，**MyShake** 网络观

测到的地面加速度值的真实分布可能与研究人员的简单模型大不相同。尽管如此，网络检测算法返回的误差分布为研究人员提供了对每个地区发生大地震的最佳和最差情况的一些指示。

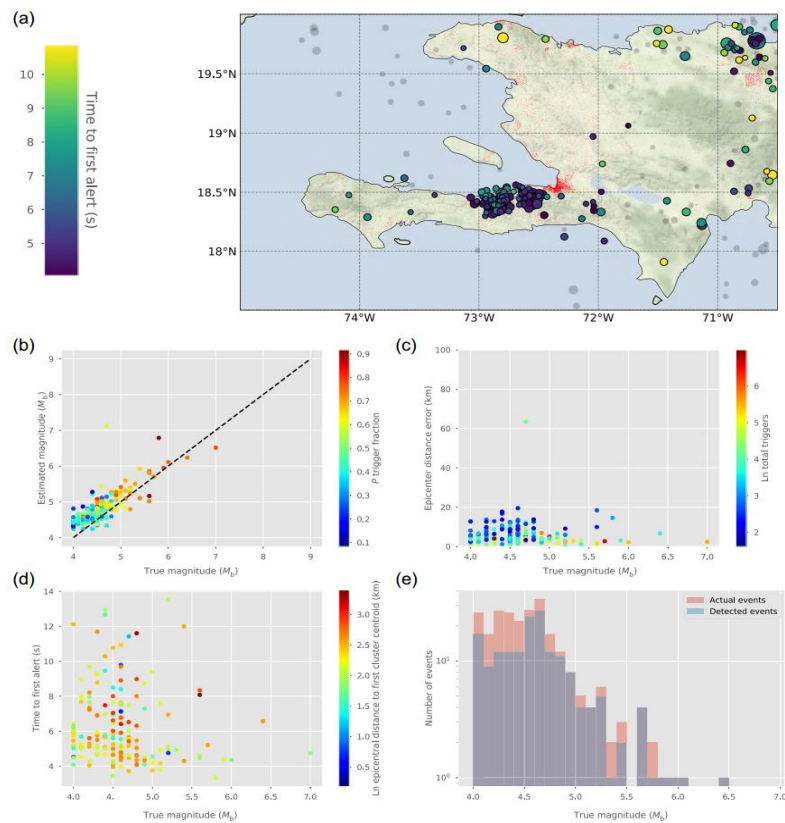


图3 海地的模拟结果

之前的结果提供了一个基于智能手机的 **EEW** 系统在不同地区环境(包括不同的构造环境和人口分布)的潜在性能的一阶指标。测试表明，**MyShake EEW** 在城市附近那些经历浅层、陆上地壳地震的人口密集区表现最好。当这些地区的建筑标准较低时，**EEW** 的潜在好处甚至更大，海地的结果就是例证。**MyShake** 对事件的快速检测在俯冲带的环境中受到了更严格的考验，比如智利，那里破坏性最大的地震往往非常大，而且发生在近海。显然，使用 **Cua** 和 **Heaton (2009)** 的振幅—距离关系来估计震级，

以及将事件作为点源的近似值，在这样的地震情况下会失效，导致震级估计较差。然而，尽管有这些限制，该算法仍然能够快速准确地定位这些大地震，即使是在最具挑战性的环境中。此外，研究人员还建立了模拟平台和网络检测工作流，以便于调整参数和测试不同的震级估计方法。因此，该算法可以针对其部署的每个区域进行定制。

震级的估计因区域不同而有很大差异，这表明在未来的算法改进中需要更适合具体区域的方法。此外，研究人员发现，随着辨别触发器是发生在 P 期还是 S 期的能力的增强，位置和震级的准确性得到了提高。因此，提高 P 或者 S 分类器的准确性也可能是未来发展的有效途径。

研究结果还表明，通常情况下，具有更多初始触发点的事件会像预期的那样，被定位得更准确。随着模拟的进行超过了最初的检测阶段，并纳入越来越多的更新，触发器的总数进一步增加。因此，事件位置通常会得到改善，而许多区域的异常值确实会消失。

对 MyShake 在不同地区的表现所进行的详细统计表明，其在人口稠密地区的陆地上地壳地震中表现最好，如印尼苏拉威西岛、海地和南加州。在这种情况下，警报可以在初始时间之后约 4~6 秒生成，震级估计误差在 0.5 震级单位之内，位置距离真实位置不到 10 公里。当地震发生在近海，比如在俯冲带，警报会变慢，震级和位置的不确定性会增加。此外，在像新西兰这样人口稀少的地区，远离人口中心的小的和中等强度的事件可能根本探测不到。

来源：Kong Q, R Martin-Short. & R M Allen. Toward Global Earthquake Early Warning with the MyShake Smartphone Seismic Network, Part 2:

Understanding MyShake Performance around the World. *Seismological Research Letters*, 2020, 91, 2218–2233.

地震网项目：用于地震预警、影响快速评估与搜救的平台

地震网（Earthquake Network）是一项基于智能手机众包服务来完成地震预警的公民科学研究项目。人们可以通过安装智能手机应用程序来加入该项目，当智能手机应用程序检测到地震时，人们就会收到实时警报信息。该项目于 2012 年底启动，涉及人员超过 550 万人，目前大约有 50 万人经常使用此应用程序。这使地震网成为最大的公民科学项目之一，也便于地震预警系统在全球范围内运作。本研究旨在介绍该项目及智能手机应用程序的主要特点，分析地震发生时智能手机应用程序实时检测到的可用数据和由应用程序用户所报告的数据。相关研究成果于 2020 年 7 月发表在 *Frontiers in Earth Science*。

尽管地震预警技术（EEW）已经成熟，但责任问题限制了 EEW 向公众开放的速度。最近十年，国家一级政府机构运行 EEW 系统的同时，非官方平台也在全球范围内提供地震快速警报。这可能是因为智能手机技术和众包模式的应用，毕竟手机使用者可以通过智能手机的使用来换取有用的服务。众所周知的例子是欧洲-地中海地震中心的 LastQuake 项目和加州大学伯克利分校地震实验室的 MyShake 项目。对于 LastQuake 项目，智能手机应用程序可以监控地震不久后人们的活动。如果同一个区域有很多人同时打开应用程序，很可能地震刚刚发生就发出了警报。对于 MyShake 项目，智能手机应用程序通过持续监控智能手机的加速计来感知地震并发送警报。

本研究主要关注地震网项目，尽管该项目在 LastQuake 项目和 MyShake 项目很久之前被研发，但它直到最近才引起地震界的关注。与其它两个项目一样，地震网拥有自己可用于地震检测的智能手机应用程序。另外，地震网应用程序在功能上类似于 MyShake 应用程序，不同的是，它

不用对智能手机的加速计数据进行地震学分析，而是监测同一区域多部智能手机的加速度，当其超过阈值时发出地震预警。

地震网应用程序在 2012 年 12 月 20 日首次发布于安卓应用市场平台。平均每天安装 50 次，花了大约 5 个月的时间才达到可检测的阈值。2013 年 5 月 8 日 00:52:33 在意大利首次检测到地震。根据记录，在世界标准时间 00:52:17 发生了 3.6 级地震，深度 8 km。距震中 23 km 处的 4 部智能手机检测到了地震，并且立即向安装了该应用程序的用户发送了警报。这证明智能手机可以检测地震，地震网项目正式启动。

与著名的 SETI @ home 项目的 520 万参与者相比，自启动以来，有 550 多万人参加了该项目。

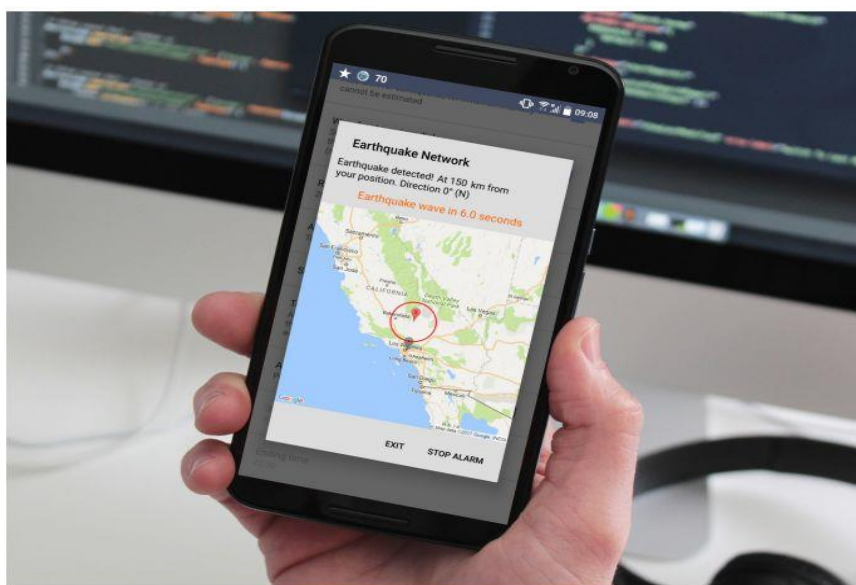


图 1 在安装了地震网应用程序的智能手机上收到的预警信息

1 智能手机应用程序

地震网应用程序既能检测地震，也能接收预警。当智能手机充电或未使用时，应用程序通过检测加速器来检测由地震而引起的振动。如果检测到异常，它便将信号发送到收集信号的智能手机服务器上，通过统计学算

法，服务器实时确定是否发生地震。如果发生，服务器则向震中周围的智能手机用户发送地震预警，让用户感到震动之前能够收到地震警示。因此，地震网可以提供地震预警服务，而且此应用程序对用户日常使用智能手机几乎无影响，且不会消耗手机电量，除非用户交互使用此程序。

2 预警系统

为了实时检测地震，智能手机网络将信号发送到位于欧洲的服务器。服务器收到的任何新信号都会触发统计学算法，该算法可以辨别是否有地震发生。因此，这种分析是全球范围内实时进行的，这意味着系统可以检测到世界各地同时发生的地震，并将它们区分后发出有效预警提示。

(1) 统计学算法

平均而言，一百万次触发中只有一次是由地震引起的，采用统计学算法是减少和控制误报概率的唯一方法。

该算法基于统计假设检验，是一种在两个假设之间进行选择的统计推断方法。零假设通常描述一个有利的条件，只要它是真的，就不需要采取行动。除非有足够的证据来推翻它，并且由数据来提供证据，否则，零假设就被认为是正确的。

在本研究中，零假设是没有地震发生，而替代假设（**alternative hypothesis**）是地震目前正在发生，必须发出警报。用于接受或推翻零假设的数据是智能手机发送的触发信息和给定区域中常使用智能手机的数量。通过研究没有地震发生时智能手机触发的统计分布来定义推翻零假设的规则。由于人们的互动，在地面实际上没有震动的情况下，智能手机也能发送触发信息，并且触发数量的统计分布具有自然变异性，这主要取决于活动智能手机的数量。

定义推翻零假设的规则本质上是指为触发数量设置阈值，超过该阈值

将引发地震。目前，阈值的最小值是 5，这意味着至少要有 6 部智能手机在受震动影响的区域内活动，并且所有智能手机都必须同时发送触发信息。低于该值（6 部手机），智能手机网络将不可靠。同时还需要注意，6 台运行中的智能手机并不意味着如果发生地震，服务器将接收到 6 个触发信息。智能手机不是地震仪，由于多种原因，即使受到震动的影响，它们也可能不会发送触发信息。这意味着 6 是检测的临界值，但也不能保证检测的地震一定发生。

（2）误报和漏报

统计学算法可能会出现两种错误，监测到地震，但未发生或地震刚刚发生，但推翻不了零假设。这就存在误报和漏报概率之间的权衡，减少前者意味着增加后者，反之亦然。

地震网需要控制误报的概率，并将其固定在一个期望值。目前，该算法设计每个国家或者地区每年一次误报。在实践中，由于智能手机网络无法辨别地震，这种概率往往被超越。虽然误报的概率是通过研究网络在没有地震发生时的行为来控制的，但对于漏报的概率，只有通过模拟智能手机网络在特定地震期间的反应来研究。

根据观察，如果一个城镇有大量智能手机用户安装了该应用程序，当震中靠近此城镇时，该地震网能够探测到 2 级及以下地震。另一方面，大地震的震中若是远离城镇，尽管周边城镇都有轻微的震感，但网络可能探测不到。对于该问题，目前正在研究之中。

此外，地震发生时，运行中的智能手机的数量会影响漏报的概率。这种概率在凌晨 3 点左右达到最小值（智能手机处于充电状态），下午 2 点左右达到最大值。尽管如此，当运行的智能手机的数量增加时，漏报的概率趋于零。当城镇内智能手机的运行数量超过 500 部时，漏报的概率便不

再受时间影响。

(3) 警报分布

只要检测到地震时，服务器会将预警信息发送可能受地震影响区域的智能手机上。这借助了 **Firestore** 云信息传递 (**FCM**) 平台，它几乎可以实时地向附近的大量智能手机发送通知。目前地震网的警报策略是基于初步确定的震中和智能手机之间的距离，初步确定的震中只是智能手机所处位置的重心。

因此，智能手机越靠近震中越能优先收到预警。这不是最佳策略，因为靠近震中的智能手机不能在地震之前得到预警信息。尽管如此，实际震中可能不是初步确定的震中，但在不确定性条件下，距离标准是最安全的选择。

一般情况下，如果智能手机距离震中 **300 km** 以内，将会收到预警信息，但用户可以从应用程序设置中随时更改此设置。

3 用户体验

用户只需按下应用程序界面中的一个按钮就可以报告他们所感受到的地震影响。智能手机的空间坐标会自动随感受报告一起发送。与问卷不同，该应用程序发送速度快，应用界面仅设计了 3 种影响：轻（仅感知）、强（物体坠落）和非常强（建筑倒塌）。

如果在同一时间收到相同地区的多份报告，**FCM** 会向智能手机用户发送预警信息。通常情况下，用户首先接收到由智能手机发出的预警提示，并在一分钟之内接收到由其它用户触发的通知。通过单击信息，用户将被重新定位到显示所有感觉报告的地图。

此外，在地震发生后的前几秒/分钟内收集的报告有利于初步估计地震参数。Finazzi (2020) 展示了如何训练时空统计模型来提供上述参数的估

计值，包括数据的不确定性，当服务器收集新的感觉报告后，还会对数据进行更新。统计模型解释了随着时间推移而增加的体验报告和全球人民的不相同反应。通常情况下，生活在弱震地区的人们倾向于报告强震，尽管地震震级很小，实际影响也不是通过应用程序来选择确定的。



图 1 2020 年 1 月 26 日波多黎 3.6 级地震后 60 秒内收集的地震网应用程序用户报告
(蓝星是震中，绿星和黄星是智能手机空间坐标位置)

4 社交网络

地震网络是第一个关于地震的社交网络，它拥有 10 种语言的聊天室，在地震后用户可以在公共空间或私人社交中分享信息。在公共空间，对话主持人维持秩序，以使讨论聚焦在重要话题上，并防止用户违反规则。即使组建聊天室对于地震网的工作来说是次要的，实际上它可以帮助人们减少灾后焦虑和对余震的恐惧。此外，加入聊天室的用户会长时间安装此应用程序。用户留存是共民科学项目的一个常见问题，鼓励用户互动可能会增加用户的使用周期。

5 搜索和救援

强震后受灾区域较大时，智能手机技术可以帮助搜索和救援。为了帮助定位失踪人口，目前地震网正在测试两种策略，一种基于人员位置统计模型，另一种基于智能手机的地理定位功能，它们都假设人和智能手机处

于同一地点。

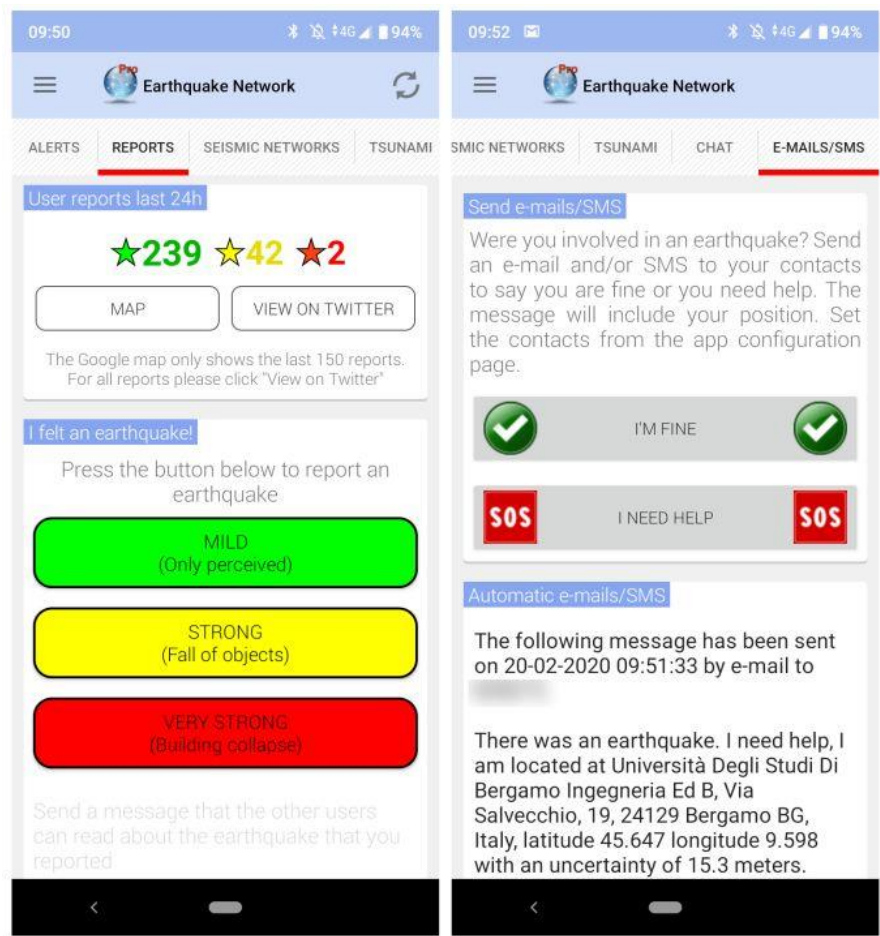


图3 地震网应用程序发送体验报告（左）和地震中发送求救信息（右）

（1）人员位置统计模型

人员位置统计模型不仅用于地震探测，而且可以提醒靠近震中的人。利用智能手机长时间内发送的所有位置，可以构建一个统计学模型来了解用户周期性的位置。分析显示，人们的确表现出了位置的周期性，在每周一天的特定时间处于同一地点。如果一个人在强震后失踪，统计模型可以提供可能的地点。

（2）实时地理定位

地震网应用程序在接收到警报时，通过电子邮件或短信将手机坐标发

送给可信任的联系人。即使在灾难性地震中，警报信息也会在震动开始之前收到，电子邮件或短信也会在互联网和电话网络被破坏之前发出。

发送电子邮件或短信之后，用户可以通过向相同的联系人发送“我很好”或“我需要帮助”等来更新他们的状态，按下该应用程序用户界面上的一个按钮便可完成。用户可以在应用程序页面随时选择进入和退出此服务，也可以设置可信任联系人的电子邮件地址和电话号码。

6 实施成本和运营成本

开发地震预警系统七年多来，实施和运营不易，以下是其项目的一些成本数额。

假设知道所有的系统规格，开发一个类似于地震网的应用程序，费用大约 4 万欧元。服务器用于实时检测，能够处理 100 多万活跃用户的数据，成本约 5 万欧元。假设系统是稳定的，不需要进行较多的更新和人员维修，平均业务费用约为 250 欧元/月。目前，这些费用由应用程序内的广告支付，这意味着地震网项目的运营是可自我维持的。

最后，地震预警系统每增加一百万活跃用户需要约 2000 欧元。虽然智能手机技术不是向多人分发实时警报的最有效选择，但只要在全球有 1000 万用户使用就是有意义的。

7 用户的隐私权

收集和分析用户位置会涉及一些隐私问题。虽然这些信息是匿名收集的，但是用户必须有方法来删除存储在服务器上的所有个人数据。地震网遵从欧洲联盟和欧洲经济区关于数据保护和隐私的一般数据保护条例，这意味着地震网有负责处理和删除用户数据的职员。

来源：Finazzi F. The Earthquake Network Project: A Platform for

Earthquake Early Warning, Rapid Impact Assessment, and Search and Rescue.
Frontiers in Earth Science. 2020, 8:243. doi: 10.3389/feart.2020.00243.