شناسایی زمین‌لرزه‌ها در شبکه‌های محلی با استفاده از روش همبستگی متقابل شکل موج

احسان کرکوتی
استادیار پژوهشکده زلزله‌شناسی ekarkooti@iiees.ac.ir

انوشیروان انصاری، ایمان کهبایی

قدم اولیه در اکثر مطالعات زلزله‌شناسی، شناسایی و مکان‌یابی رخدادهای لرزه‌ای است. برای شناسایی و تعیین مکان یک زمین‌لرزه لازم است که امواج حاصل از آن حداقل در سه ایستگاه لرزه‌نگاری ثبت شوند. از آنجا که موج زمین‌لرزه با انتشار و گسترش میرا شده و دامنه آن متناسب با زمان و فاصله از کانون کم می‌شود، با افزایش فواصل بین ایستگاهی، قدرت شناسایی و تعیین محل رخدادهای لرزه‌ای کاهش می‌یابد. زیرا دامنه امواج رسیده به هر ایستگاه پس از طی مسافتی تحت تأثیر میرایی کاهش یافته و برای زمین‌لرزه‌های کوچک به مقداری مساوی و یا کم‌تر از دامنه نوفه‌های ایستگاهی می‌رسد، بنابراین امواج لرزه‌ای در نوفه‌های ایستگاهی گم شده و به وسیله روش‌های مرسوم قابل شناسایی نخواهد بود. این موضوع همچنین با افزایش سطح نوفه‌های ایستگاهی شدیدتر شده و متناسب با آن، باعث کاهش قدرت شناسایی و بالا رفتن بزرگای آستانه تکامل شناسایی شبکه و نقص در کاتالوگ می‌شود. راهکار ابتدایی برای رفع این مشکل افزایش تعداد و تراکم ایستگاه‌های منطقه است تا دامنه امواج کوچک‌ترین رخدادها تحت تأثیر کم‌ترین میرایی و در نزدیکترین ایستگاه‌ها قابل شناسایی باشد. اما این کار مستلزم اختصاص مکان مناسب، هزینه زیاد تجهیزات، ساخت و نگهداری، انتقال اطلاعات و ذخیره‌سازی بوده و محدودیت‌های مالی زیادی را ایجاد می‌کند. استفاده از تکنیک همبستگی متقابل شکل موج (فیلتر انطباق) برپایه روش‌های پردازش سیگنال بدون صرف هزینه برای ساخت و تجهیز ایستگاه جدید و با استفاده از ایستگاه‌های موجود باعث افزایش بازده شبکه شده و کمک می‌کند تا نتیجه بهتری در شناسایی و ثبت رخدادهای لرزه‌ای حاصل شود.

برای شناسایی پس‌لرزه‌های یک شبکه لرزه‌نگاری با استفاده از روش همبستگی متقابل شکل موج (فیلتر انطباق)، به داده‌های پیوسته آن شبکه و کاتالوگ کاملی از تمامی زمین‌لرزه‌های شناسایی شده پیشین این شبکه، شامل زمان رسید فازها نیاز است. بدین منظور لازم است ابتدا تمامی رویدادهای لرزه‌ای رخداده منطقه در آن شبکه، توسط روش‌های خودکار مانند شناساگر انرژی STA/LTA و یا توسط کاربر شناسایی شوند. دقت زمانی فازهای شناسایی شده، در شناسایی‌های بعدی بسیار مهم هستند، بنابراین بهتر است در صورت استفاده از روش‌های خودکار، تمامی فازها توسط کاربر مورد بازنگری قرار گرفته و اصلاح شوند. سپس با استفاده از زمان فازهای لرزه‌ای شناسایی شده، پنجره‌ای از فازهای لرزه‌ای آنها جدا شده و هر زمین‌لرزه به عنوان یک مرجع درنظر گرفته می‌شود. روش همبستگی متقابل شکل موج با شباهت‌یابی مراجع جدا شده در نوفه‌های ثبت شده و شناسایی فازهای لرزه‌ای زیر سطح نوفه باعث افزایش بازده شبکه شده و بدون صرف هزینه برای ساخت ایستگاه جدید، نتیجه کامل‌تری در شناسایی رخدادهای لرزه‌ای کوچک داشته و باعث مطالعه دقیق صفحه گسلی و کاهش Mc منطقه می‌شود.

Detection of Earthquakes in Local Networks using Waveform Cross Correlation Method

Ehsan Karkooti
Assistant Professor, Seismology Research Center
ekarkooti@iiees.ac.ir

Anoshiravan Ansari, Iman Kahbassi

The first step in most seismological studies is to detect and locate seismic events. In order to locate an earthquake, the seismic waves must be recorded at least in three seismic stations. Since the seismic wave propagation is attenuated, and the amplitude of seismic waves decreases with time and distance, increasing distances between stations reduced the quality of detecting and locating seismic events. For each station, the wave's amplitude decreases due to attenuation, and for small earthquakes, the final amplitude is comparable with ambient noises. Therefore, seismic phase waves are covered by station noises and will not be detectable by conventional methods. This issue becomes more problematic as the station noise level increases, reducing the ability to detect events. This problem also increases the magnitude of the network threshold and the incompleteness of the earthquake catalogs. The immediate solution to this problem is to increase the number and the density of stations in the region. With this solution, the amplitude of the smallest events is less affected by wave attenuation and becomes detectable by the nearest stations. But this requires to find the best location for seismic stations and also the high cost of equipment, construction, maintenance, storage, and data transfer imposes many financial constraints. Using the waveform cross-correlation technique (Matched-Filter) is an approach based on a signal processing method that is a very powerful tool without the cost of building and equipment. It just worked using existing stations and helped us achieve better results in identifying and recording seismic events. In order to identify the aftershocks of a seismic network using the waveform cross-correlation method (matching filter), we need continuous data from the seismic network and a complete catalog of all previously identified earthquakes and the arrival time of the phases of this network. For this purpose, it is necessary first to detect all seismic events in that network, by automated methods such as sta/lta or by the user. The accuracy of the identified phases is crucial in subsequent identifications, so it is better to review and modify all phases by the user if automated methods are used. Then, by using the detected seismic phases, some of their

seismic phases are extracted and considered as references. The waveform cross-correlation method works with the similarity of these references in continuous record noise and identification of seismic phases below the noise level. Finally, this method helps us to detect fault planes and decreases Mc in the region. This study was conducted using continuous data from 95 days across 13 stations of a temporary seismic network, installed by the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering for August 17, 2014, Mormori-Ilam earthquake with a local magnitude of 6. The number of 838 aftershocks was determined by conventional methods in this network. By referring to the selected seismic phases of 838 earthquakes as references earthquakes and measuring the similarity in recorded noise, the number of detected aftershocks increased to 3575 (4.27 times). Also, by relocating these earthquakes, we find a good estimation between the fault plane and detected aftershocks. The strike of fault plane has to be identified as 15-30 SW. The magnitude of these aftershocks is also relatively comparable with the magnitude of the reference earthquakes and shows us the capability of this method to identify the aftershocks with a smaller magnitude of the magnitude of completeness of previous catalog.

Keywords: Cross-correlation, Matched-Filter, Aftershock, Murmuri-Ilam, Signal-processing

این مطالعه بر روی ۹۵ روز داده پیوسته شامل ۱۳ ایستگاه شبکه لرزه‌نگاری موقت، نصب شده توسط پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، برای زمین‌لرزه ۲۷ مرداد ۱۳۹۳ مورموری-ایلام با بزرگای محلی ۶ انجام گرفت. کاتالوگ حاصل از روش‌های متداول شامل ۸۳۸ پس‌لرزه با استفاده از داده‌های شبکه لرزه‌نگاری موقت و درون محدوده تحت بررسی می‌باشد، با شباهت‌سنجی تمامی قسمت‌های نوفه با مراجع جدا شده از این ۸۳۸ زمین‌لرزه مرجع، تعداد ۳۵۷۵ پس‌لرزه شناسایی شد که افزایش ۴/۲۷ برابری در تعداد شناسایی را نشان می‌دهد. همچنین با تعیین محل این پس‌لرزه‌ها تخمین خوبی از صفحه گسلی و روند رخداد پس‌لرزه‌ها ایجاد شده و صفحه گسلی با شیب ۱۵ تا ۳۰ درجه به سمت جنوب غربی نشان داده شد. بزرگای این پس‌لرزه‌ها نیز به صورت نسبی و در مقایسه با بزرگای زمین‌لرزه مرجع شناسایی کننده خود محاسبه شد که به خوبی قابلیت این روش در شناسایی پس‌لرزه‌های کوچک‌تر از آستانه کامل بودن کاتالوگ مرجع را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: همبستگی متقابل شکل موج، فیلتر انطباق، پس‌لرزه، ایلام-مورموری، پردازش سیگنال