تعیین زمان رسید امواج P و S با استفاده قطبش ضرایب موجک لرزه‌نگاشت

فروغ کشوری[۱] و حمیدرضا سیاهکوهی[۲]

[۱] دانشجوی دکتری ژئوفیزیک، مؤسسهٔ ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران
[۲] استادیار گروه فیزیک زمین، مؤسسهٔ ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

چکیده

روش معرفی شده در این مطالعه زمان رسید فازهای P و S را بر اساس تبدیل موجک گسسته (DWT) و ویژگی‌های پلاریزاسیون ضرایب تبدیل، تنها با اطلاعات لرزه‌نگاشت سه‌مولفه‌ای کوتاه پریود مربوط به یک ایستگاه تعیین می‌کند. علت انتخاب تبیل موجک بعنوان ابزاری برای این مطالعه این است که معمولا ویژگیهای اصلی نگاشت لرزه‌ای مانند امواج P و S در همه مقیاسهای تبدیل موجک قابل مشاهده است ولی ویژگیهای فرعی‌تر مانند پراش و نوفه‌ها در مقیاسهای پایین تحلیل می‌یابند. در اینجا تبدیل موجک گسسته هر سه مولفه از لرزه نگاشت مورد مطالعه تا ۶ مقیاس بکار برده شده، سپس با بررسی پلاریزاسیون و بدست آوردن تابع خطی بودن، زمان رسید موج P بدست آمد. در حالیکه زمان رسید موج S با استفاده از مولفه‌های عرضی و شعاعی و ضرایب موجک آنها در ۱۰ مقیاس و محاسبه تابع ترکیبی بدست آمد.

Abstract

The method we introduce here uses the DWT of seismogram and polarization characteristics of their DWT coefficients to determine the arrival times of P and S phases. We need only a three component record of an earthquake from a single station. We tested the efficiency of the method on a record from an earthquake from Sweden using 6 scales of DWT for P phase arrival time and 10 scales of DWT for S phase arrival time determination

مقدمه

تعیین سریع و با دقت اولین رسید موج اهمیت بسیار زیادی در تعیین محل زمینلرزه، نوع زمینلرزه و تحلیل سازوکار زمینلرزه دارد. بخصوص امروزه زلزله‌شناسان با حجم انبوهی از داده‌های لرزه‌ای دیجیتال روبرو هستند و سیستمهای تله‌متری امکان ارسال اطلاعات به مرکز پردازش و تعیین موقعیت اتوماتیک رومرکز را فراهم آورده است. پیدا کردن روشی مناسب برای تعیین فاز بخصوص برای یک ایستگاه منفرد بسیار مناسب است، زیرا گاهی برخی از زمینلرزه‌ها توسط ایستگاههای دیگر خوب ثبت نمی‌شوند و تنها اطلاعات مربوط به یک ایستگاه منفرد در دست است.

تبدیل موجک، سیگنال ورودی را در مقیاسهای مختلف نشان می‌دهد. ویژگیهای اصلی سیگنال (زمان رسید فازها) معمولا در همه مقیاسها مشخص می‌شوند، در حالیکه نوفه‌ها و پراش خیلی سریع در مقیاسهای بالا افت می‌کنند (دابشیز، ۱۹۹۲). در این مطالعه سه مولفه از نگاشت زمینلرزه به کمک تبدیل موجک گسسته تجزیه شده، پلاریزاسیون و تابع خطی‌بودن در پنجره‌های زمانی بطول T نقطه برای همه مقیاسها محاسبه و نهایتا بیشینه تابع خطی‌بودن ترکیبی که از حاصلضرب نمونه به نمونه توابع خطی‌بودن مربوط به مقیاسهای مختلف بدست آمده است، زمان رسید موج P را نشان می‌دهد. در ادامه تابع خطی‌بودن ترکیبی برای سیگنالهای شعاعی و عرضی برای یافتن زمان رسید موج S مورد استفاده قرار گرفت.

روش مطالعه

امواج لرزه‌ای، شامل فازهای مختلفی هستند که از مهمترین آنها می‌توان به P و S اشاره کرد. تعیین زمان‌رسید صحیح این دو فاز در تعیین محل رومرکز زمینلرزه بسیار حائز اهمیت است. در این مقاله برای تعیین زمان رسید این دو فاز، روش پلاریزاسیون (کاناسویچ و همکاران، ۱۹۸۱) بکار می‌رود که در آن بجای سیگنال اصلی از ضرایب موجک استفاده می‌شود (آنانت و دولا، ۱۹۹۷). در این روش تنها از نگاشت سه‌مولفه‌ای مربوط به یک ایستگاه استفاده می‌گردد. انگیزه اصلی برای استفاده از تبدیل موجک این است که ویژگیهایی از

Archive of SID

www.SID.ir

نگاشت زمینلرزه که خیلی در تعیین موقعیت رومرکز مهم نیستند، تنها در یک یا دو مقیاس مشخص می‌شوند، بدین ترتیب با تحلیل دیگر مقیاسها می‌توان ویژگیهای اصلی رکورد را تشخیص داد.

الگوریتم تدوین‌شده در این مطالعه دارای دو مرحله است. در مرحله اول چگونگی تعیین زمان رسید موج P و در مرحله دوم تعیین زمان رسید موج S مشخص می‌گردد. در هر دو مرحله، با استفاده از DWT مولفه‌های نگاشت زمینلرزه از نوع کوتاه‌پریود (Se، Sn و Sz) و مولفه‌های عرضی و شعاعی (Sr,St) نگاشت زمینلرزه پردازش شده که ضرایب موجک (d_e^j، d_n^j و d_z^j) و (d_t^j و d_r^j) در مقیاسهای مختلف j بدست می‌آید. همانطور که گفته شد، تعداد ضرایب موجک از یک مقیاس به مقیاس بعدی نصف می‌شود. از آنجاییکه در این مطالعه تحلیل نگاشت زمینلرزه نیاز به مقابلهٔ خروجی الگوریتم در مقیاسهای مختلف داشت، بنابراین، الگوریتم باید طوری تدوین می شد که ضرایب موجک در هر مقیاس را درونیابی کند تا هر کدام از آنها طولی یکسان با سیگنال اولیه داشته باشند (تبدیل موجک پایا). فرآیند درونیابی از طریق ازدیاد یک‌درمیان نمونه‌ها و همامیخت، با بکارگیری ترکیبی از فیلترهای $\tilde{g}$ و $\tilde{h}$ انجام شد.

نگاشت زمینلرزه استفاده شده در این مطالعه مربوط به زمینلرزه‌ای است که در تاریخ ۲۰۰۴/۹/۱۴ در ۳۶/۲۷ درجه شمالی و ۵۱/۵۶ درجه شرقی در ایستگاه KHC در سوئد به مختصات ۴۹/۱۳ درجه شمالی و ۱۳/۵۷ درجه شرقی ثبت شده است. داده مزبور شامل مولفه‌های کوتاه‌پریود شرقی ـ غربی، شمالی ـ جنوبی و قائم با نرخ نمونه‌برداری ۲۰ Hz می‌باشد. شکل ۲، مولفه قائم لرزه‌نگاشت سه‌مولفه‌ای نوع کوتاه‌پریود را به همراه ضرایب مقیاس درونیابی شده در ۶ مقیاس نشان می‌دهد. پایین‌ترین مقیاس در بالا و بالاترین مقیاس در پایین شکل مشخص شده است. مناسبترین موجک برای استفاده موجکی است که با شکل اولین رسید در رکورد زلزله شباهت داشته باشد تا بتواند به بهترین نحو آن را تشخیص دهد. بنابراین، در اینجا از موجک دابشیز پنج (db5) که به اولین رسید فاز P شبیه‌تر است، استفاده شد.

تعیین زمان رسید فاز P

موج P موجی است که بصورت خطی پلاریزه می‌شود، بنابراین می‌توان از ماتریس کوواریانس برای اندازه‌گیری میزان پلاریزاسیون خطی نگاشت زمینلرزه و تعیین زمان رسید موج P استفاده کرد. این روش برای اولین‌بار توسط کاناسویچ (۱۹۸۱) ارائه گردید. در این مطالعه ایده کاناسویچ بکار گرفته شد، بنحوی که در هر مقیاس و برای ضرایب موجک درونیابی‌شده هر سه مولفه، ماتریس کوواریانس برای پنجره‌ای بطول T نمونه در نظر گرفته شد که بصورت نمونه به نمونه در طول محاسبات به جلو حرکت می‌کند. در ادامه ویژه مقدارهای هر ماتریس کوواریانس ($M^j[i]$) محاسبه‌شده و در تابع خطی‌بودن قرار داده شدند:

$$F = 1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \qquad (۱)$$

که در آن λ_1 بزرگترین ویژه‌مقدار و λ_2 دومین ویژه‌مقدار بزرگ ماتریس M است. در اینجا مقدار یک برای تابع F نوعی نشانگر پلاریزاسیون خطی کامل است و مقدار صفر برای آن بیانگر این است که پلاریزاسیون خطی وجود ندارد. در این مطالعه F^j برای هر مقیاس محاسبه شد. سپس تابع C_F که بیشینه آن نشاندهنده زمان رسید موج P است (شکل ۱)، بصورت زیر بدست می‌آید:

$$C_F = \prod_j F^j \qquad (۲)$$

معمولا بردار ویژه مربوط به ویژه مقدار بیشینه در زمان رسید P برای محاسبه آزیموت پشتی زمینلرزه بکار می‌رود. این زاویه در مرحله بعد برای تعیین زمان رسید موج S استفاده می‌شود.

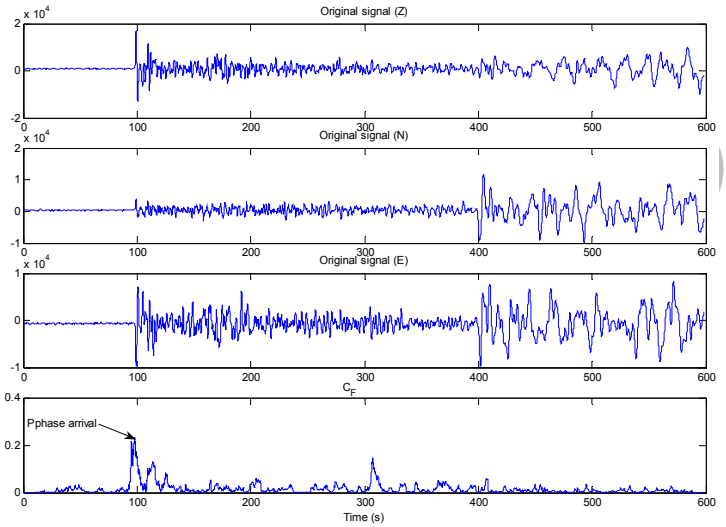
تعیین زمان رسید موج S

برای تعیین زمان رسید موج S از مولفه‌های شعاعی و عرضی استفاده می‌شود. در این راستا برای بدست آوردن مولفه‌های شعاعی،

Archive of SID

www.SID.ir

مولفه‌های Sn و Se نگاشت سه‌مولفه‌ای زمینلرزه حول زاویه θ (آزیموت پشتی) چرخانده شده تا مولفه‌های شعاعی و عرضی در نقاط i بدست آیند. در ادامه با اعمال تبدیل موجک روی مولفه‌های شعاعی Sr و St، ضرایب موجک درونیابی شده d_t^j و d_r^j در ۱۰ مقیاس بدست آمد. از آنجا که موج S معمولا نسبت به موج P، دارای فرکانس غالب پایین‌تری است؛ بنابراین در مقیاسهای بالاتر بایستی زمان رسید این موج را ردیابی کرد. در مرحله بعد، برای جلوگیری از ناپایداری محاسبات، تابع پوش env(x) و تابع ویژگی ttr برای هر مقیاس محاسبه می‌شود:



شکل۱. زمان رسید موج P بیشینه C_F زمان رسید موج P را نشان می‌دهد.

$$ttr^j = \frac{env(d_t^j)}{env(d_t^j) + env(d_r^j)} \qquad (۳)$$

مرحله آخر در تعیین زمان رسید موج S، محاسبه C_t بصورت زیر است:

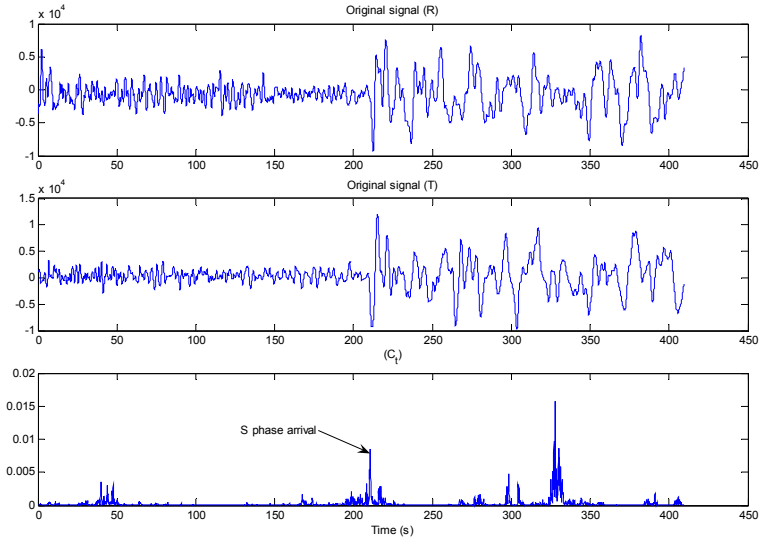
$$C_t = \prod_j ttr^j \qquad (۴)$$

اولین نقطه بعد از زمان رسید موج P که تقریبا نصف بیشینه C_t است، بعنوان زمان رسید موج S انتخاب می‌شود (آنانت و دولا، ۱۹۹۷). بیشینه C_t زمان رسید فازی از موج S را نشان می‌دهد که دارای بیشترین دامنه است که معمولا چند ثانیه بعد از زمان رسید موج S اصلی به ایستگاه می‌رسد. در شکل ۲ زمان رسید موج S برای رکورد زمینلرزه مورد مطالعه نشان داده شده است.

نتیجه‌گیری

روش معرفی شده در این مقاله روی نگاشت زمینلرزه‌ای که در تاریخ ۲۰۰۴/۹/۱۴ در ۳۶/۲۷ درجه شمالی و ۵۱/۵۶ درجه شرقی در ایستگاه KHC در سوئد به مختصات ۴۹/۱۳ درجه شمالی و ۱۳/۵۷ درجه شرقی ثبت شده بود، اجرا شد. در این مقاله عمدا از سیگنالی استفاده شده که زمان رسید موجهای P و S کاملا مشخص بود. همانطور که مشاهده می‌شود، این الگوریتم بخوبی توانست زمان رسید موجهای P و S را مشخص کند. نشان داده شد که تابع C_F تابعی موثر در شناسایی زمان رسید موج P است، البته باید ذکر شود که تعیین زمان رسید موج S تا حدودی مشکلتر است و بایستی دقت کرد که از موجکی استفاده شود

Archive
www.SID.ir



شکل ۲. مولفه‌های شعاعی و عرضی زمینلرزه و مقدار تابع ترکیبی C_t. اولین مقداری که بعد از زمان رسید موج P، تقریبا مقداری برابر نصف مقدار بیشینه C_t را دارد، بعنوان زمان رسید موج S در نظر گرفته شده است.

که شبیه شکل سیگنال در زمان رسید موج P باشد. بهمین دلیل در اینجا از موجک دابشیز پنج db5 که بیشترین شباهت را به شکل موج P در این رکورد خاص دارد، استفاده شد. همانطور که تئوری تبدیل موجک پیش بینی می‌کرد، ویژگیهای اصلی نگاشت زمینلرزه (همچون رسید فازهای اصلی) در همه مقیاسها حضور داشتند. در روش بکار رفته و الگوریتم تدوین شده از این خاصیت استفاده شد و ویژگیهای اصلی بصورت بیشینه در C_F دیده شدند.

منابع

Anant, S. K., and F. U. Dowla, 1997. Wavelet transform methods for phase identification in three-component seismogram, Bull. Seism. Soc. Am., **87**, 1598–1612.

Daubechies, I., 1992. Ten lectures on wavelets, in CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, Pennsylvania, **61**, 357.

Goupillaud, P., A. Grossmann, and J. Morlet, 1984. Cycle-octave and related transforms in seismic signal analysis, Geoexploration, **23**, 85–102.

Grossmann, A., and J. Morlet, 1984. Decomposition of Hardy functions into square integrable wavelets of constant shape, SIAM J. Math. Anal., **15**, 723–736.

Kanasewich, E. 1981. Time sequence analysis in geophysics. The University of Alberta Press.

Mallat, S., 1989. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation, IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intelligence, **11**, 674–693.

Archive of SID

www.SID.ir