

گزینش زمان نخستین رسید با دقت زیاد و الگوریتم تصحیح

محمد بجوانی*، علی غلامی^۱، دانشگاه تهران • علیرضا جواهری نیساتک^۲، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۵/۰۴/۲۰

تاریخ ارسال به داور: ۹۵/۰۴/۲۰

تاریخ پذیرش داور: ۹۵/۰۷/۲۶

واژگان کلیدی:

گزینش خودکار نخستین زمان رسید، نشانگر لحظه‌ای، الگوریتم تصحیح

نخستین زمان رسیدهای سیگنال‌های لرزه‌ای، اطلاعات مهمی درباره‌ی لایه‌های زیرین زمین دارند. در این مقاله گزیده‌ای از روش‌های گزینش خودکار زمان نخستین رسید بر پایه‌ی نشانگرهای لحظه‌ای تشریح شده‌اند.

همچنین یک روش تصحیح برای بهبود و بهینه‌سازی گزینش معرفی شده که گزینش‌های انجام شده‌ی هر ردلرزه را با گزینش ردلرزه‌های مجاور تطبیق می‌دهد و مدل بهتری را نتیجه می‌دهد. در نهایت نتایج آزمایش روش‌های یاد شده روی داده‌های واقعی نشان داده شده‌اند.

مقدمه

در لرزه‌شناسی اکتشافی، نخستین زمان رسیدهای سیگنال لرزه‌ای اطلاعات مهمی به همراه دارند که با استفاده از این زمان‌ها و پردازش آنها می‌توان مدلی از ساختار زیرسطحی ارائه کرد. به‌طور کلی این رسیده‌ها مربوط به انرژی امواج شکست مرزی در لایه‌ی هوازده یا امواج مستقیم هستند که مستقیماً از چشمه به گیرنده‌ها می‌رسند. اندازه‌گیری صحیح نخستین زمان رسیده‌ها در محاسبه‌ی تصحیحات استاتیک و بخش‌های ابتدایی پردازش داده‌های لرزه‌ای مورد نیاز است.

۱- روش‌های گزینش خودکار زمان نخستین رسید

به‌طور کلی کیفیت نخستین جهش به شرایط ساختار نزدیک به سطح، نوع چشمه و نسبت سیگنال به نوفه بستگی دارد. به‌عنوان یک نتیجه، اگر داده در یک ساختار نزدیک به سطح پیچیده برداشت شده باشد یا نسبت سیگنال به نوفه کم باشد برآورد خودکار زمان رسید دشوار خواهد بود [۱]. همچنین اگر مثل زمانی که از چشمه‌های ویراتور استفاده می‌شود، موجک چشمه فاز صفر باشد، همبستگی سوپ^۲ اغلب افتادگی‌های کناری تولید می‌کند که قبل از نخستین رسید می‌رسند؛ بنابراین عملیات برآورد سخت‌تر هم می‌شود [۲]. به‌طور مرسوم تعیین رسید سیگنال با بررسی چشمی تغییرات دامنه و شکل موج (انتخاب دستی) همراه است. علاوه بر زمان‌بردن روش دستی، این راهکار می‌تواند منجر به ناپایداری انتخاب‌ها شود؛ چراکه به دقت فردی انتخاب کاربر بستگی دارد. در دهه‌های اخیر، روش‌های متعدد خودکار و نیمه‌خودکاری برای تعیین نخستین رسید توسعه داده شدند. نخستین روش بر اساس همبستگی ردلرزه‌های مجاور برای یافتن زمان تأخیر نخستین رسیده‌ها پایه‌ریزی شد. وقتی شکل ضربه از یک ردلرزه به دیگری تغییر کند یا وقتی ردلرزه‌ی بد یا مرده^۳ پیدا شود این روش‌ها با شکست روبرو می‌شوند. هادرلی بعضی آزمایش‌های آماری سنگین را برای برآورد نخستین رسید پیشنهاد می‌کند [۳]. گلچینسکی روشی بر پایه‌ی ترکیب خواص

همبستگی سیگنال و ملاک آماری ارائه می‌دهد [۴]. دیگر روش‌ها را نیز می‌توان در بسته‌های نرم‌افزارهای تجاری مختلف یافت که بر شناسایی افزایش آنی در انرژی سیگنال تمرکز دارند [۵]. همان‌گونه که کوپنز گفته وقتی نسبت سیگنال به نوفه زیاد است این روش بسیار مؤثر است. به‌عنوان یک تقریب اولیه از محل نخستین رسیده‌ها، اسپاگنولینی روش برآورد تطبیقی خود را بر شناسایی تغییرات آنی انرژی پایه‌ریزی کرد [۶]. برای سادگی، روش‌های اشاره شده را روش‌های مرسوم می‌نامیم. روش‌های غیر مرسوم شامل الگوریتم‌های نسبتاً جدید هستند؛ مثل روش‌های بر پایه‌ی شبکه‌های عصبی [۷]. این روش‌ها برای تعیین نخستین رسید بسیار مفیدند، اما پرورش مناسب شبکه اغلب نیازمند زمان زیاد و توانایی و توجه کاربر است. بدون پرورش مناسب شبکه، ممکن است نتایج نیازمند تنظیمات دستی زمان‌گیر فراوان باشند؛ به‌خصوص زمانی که کیفیت داده‌ها ضعیف باشد. از دیگر روش‌های نامرسوم می‌توان به استفاده‌ی روش‌های آماری مرتبه بالا [۸] (با محدودیت‌هایی شبیه شیوه‌های مبتنی بر همبستگی)، تحلیل بعد فرکتالی [۹-۱۱] و تبدیل موجک [۱۲] اشاره کرد. متأسفانه وقتی نوفه‌ی زمینه بالا و کیفیت داده ضعیف باشد، این روش‌ها با شکست مواجه می‌شوند و به‌طور خودکار مسأله‌ی به‌دست آوردن برآوردهای پایا و معتبر حل نشده باقی می‌ماند. در این مقاله پس از معرفی دو روش کاربردی در زمینه‌ی گزینش خودکار زمان نخستین رسید که از نشانگرهای لحظه‌ای استفاده می‌کنند، روش بهبود دقت گزینش مطالعه خواهد شد.

۱-۱- روش کوپنز بهبود یافته

یکی از روش‌های گزینش خودکار نخستین رسید روش کوپنز^۵ است که با استفاده از نسبت مقادیر انرژی نمونه‌ها، زمان نخستین رسید را گزینش می‌کند. مزیت روش کوپنز آنست که سیگنال را از نوفه‌ی زمینه‌ی همدوس یا ناهمدوس با مقادیر اختلاف انرژی آنها تشخیص

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (bejvanimohammad@ut.ac.ir)

۱-۲- روش آنتروپی^۸

روش آنتروپی یک روش برآورد جدید بر اساس آنتروپی منحنی هاست که مفهوم آن توسط دنیس و کرموس در زمینه قطع بندی سری های زمانی استفاده شد [۱۴]. در کار آنها منحنی آنتروپی به عنوان یک اندازه گیری تغییرات و ساختار همبستگی سری های زمانی در نظر گرفته می شود. این روش اجازه می دهد مشخصات آماری سیگنال و تقسیم آن به بخش های پایای محلی نمایان تر شود. از این تئوری با مفهوم یکسان برای برآورد نخستین زمان رسید استفاده می شود [۲]؛ چرا که در مشخصات آماری ردلرزه، تغییر سریع در نخستین رسید مورد انتظار است. دنیس و کرموس آنتروپی سری های زمانی را به عنوان تابعی از زمان (یا فضا) و بدین صورت محاسبه می کنند:

$$H(t) = \log \left(\frac{L(t)}{t} \right) \quad (۴)$$

که $L(t)$ ، طول سری های زمانی است و توسط جمع مقادیر مطلق مشتق اول تقریب زده می شود. برای محاسبه آنتروپی به عنوان یک نشانگر لرزه ای ردلرزه $s(t)$ ، $H(t)$ داخل یک پنجره ای متحرک با طول ثابت n_h تخمین زده می شود که مقدار آن به آخرین نمونه ی پنجره تعلق می گیرد. بنابراین:

$$H(t) = \log \left(\frac{1}{n_h} \sum_{i=t-n_h+1}^{t-1} |s_{i+1} - s_i| \right) \quad (۵)$$

به طور کلی وقتی که پنجره، نوفه یا سیگنال حاوی نوفه را احاطه کرده باشد آنتروپی مشخصاً تغییر می کند و بنابراین با شناسایی تغییرات سریع در این نشانگر می توان نخستین زمان رسید را شناسایی کرد. شایان توجه است که اگر پنجره ای متحرک بسیار کوتاه باشد تغییر پذیری آنتروپی بسیار بزرگ خواهد بود و اگر بسیار بلند باشد تفکیک پذیری زمانی کاهش می یابد. علاوه بر آن برای دستیابی به همه ی مشخصات آماری رسید اول، منطقی است که یک n_h به عنوان مضربی از دوره ی تناوب رسید اول انتخاب شود. در همه ی آزمایش های ردلرزه ها با در نظر گرفتن n_h به اندازه ی دو برابر دوره ی تناوب اصلی سیگنال، نتایج قابل قبولی حاصل شد [۲].

۲- تصحیح گزینش های غلط و الگوریتم نهایی

الگوریتم هایی که در بخش های قبل توضیح داده شدند در پی نخستین رسید در یک ردلرزه منفرد هستند. اما یک شخص گزیننده ی نخستین رسید همه ی مقطع را برای گزینش در نظر می گیرد. در عمل، او با اطمینان، به عوامل معمول مثل تأخیر های زمانی ثابت بین ردلرزه های مجاور، افزایش زمان با فاصله ی دورافت، هم تراز ی نخستین رسید در طول خطوط مستقیم و ... توجه می کند. هر گزینشی بدون توجه به این معیارها نیازمند ارزیابی مجدد است. این عوامل معمول با اعمال محدودیت هایی می توانند در یک الگوریتم گزینش خودکار جای گیرند. برای این منظور برای محدود کردن یافتن نخستین رسیده ها در نزدیکی این خطوط روش تصحیح گزینش های غلط^۹ در نظر گرفته شده است؛ آنچه با استفاده از گزینش هر ردلرزه و توسط حداقل مربعات

می دهد [۶]. برای این منظور انرژی ردلرزه $s(t)$ که داخل دو پنجره ی تودرتو است محاسبه می شود:

$$E_1(t) = \sum_{i=t-n_1+1}^t s_i^2 \quad (۱)$$

$$E_2(t) = \sum_{i=1}^t s_i^2 \quad (۲)$$

که n_1 طول نخستین پنجره (پیشتاز)، متغیری ثابت است که قبلاً تعیین شده است. برعکس؛ طول پنجره ی دومی (بلندتر) با زمان افزایش می یابد. پس نسبت انرژی بدین ترتیب محاسبه می شود:

$$ER(t) = \frac{E_1(t)}{E_2(t) + \beta} \quad (۳)$$

که β ثابت پایایی است که کمک می کند نوسان سریع ER کاهش یابد و ممکن است منجر به برآورد غلط نخستین رسید شود (به خصوص وقتی نوفه ی زمینه کم باشد). این نشانگر به آخرین نمونه ی پنجره ها متناسب می شود. شیوه ی پنجره های تودرتو تضمین می کند که $ER < 1$ شود؛ آنچه باعث سهولت در کنترل دامنه ی این نشانگر می شود.

ایده ی اساسی این راهکار بسیار ساده است و روش کوپنز را دنبال می کند. نشانگر نسبت انرژی یک گذار بین نوفه و سیگنال حاوی نوفه را نشان می دهد. اما به دلیل تغییر پذیری نشانگر و اینکه اغلب محل گذار بسیار ناگهانی نیست تعیین زمان رسیدن سیگنال کار مشکلی است. برای کاسته شدن از این مسأله $ER(t)$ با اعمال یک عملگر EPS فیلتر می شود [۱۳]. هموارکننده ی حافظ لب (EPS) می تواند به عنوان یک تغییر کوچک در روش هموارکننده ی میانگین گیر تقریب زده شده و سبب کاهش نوفه گردد؛ در حالی که بسیاری از تغییرات قاب ملاحظه ی داده را حفظ می کند (روش EPS در پوست آ توضیح داده شده است). در نهایت زمان نخستین رسید به نمونه ای که مشتق نشانگر در آن بیشینه باشد نسبت داده می شود. این راهکار اجازه می دهد که زمان تأخیری که معمولاً بین بیشینه ی نشانگر و نخستین رسید واقعی وجود دارد کمینه گردد و صحت نتایج بهبود یابد. این روش، روش کوپنز بهبود یافته MCM نام دارد [۲]. از نظر عملی، MCM برای تنظیم سه متغیر به کاربر نیاز دارد: طول پنجره ی پیشتاز n_1 ، طول عملگر n_e ، EPS ، و ثابت پایایی β .

به دلیل این فرض که پنجره ی پیشتاز انرژی نخستین رسید را دربر دارد، طول آن برابر با یک دوره ی زمانی شکل موج نخستین رسید در نظر گرفته می شود. برای این کار می توان دوره ی زمانی را با اندازه گیری فاصله ی زمانی بین دو قله ی موج (که دقیقاً پس از نخستین رسید است) تعیین کرد. از سوی دیگر با قرار دادن طول پنجره n_e معادل $1/5$ برابر دوره ی زمانی، در همه ی حالت ها می توان بهترین نتیجه را گرفت. انتخاب β روشی را برای کنترل حساسیت نشانگر نسبت به تغییرات انرژی، در ممانعت انتخاب های غلط فراهم می کند. بر اساس بعضی تنظیمات تجربی، انتخاب β برای این روش حساس نیست و تقریباً $0/2$ در نظر گرفته می شود.

روش پیشنهادی برای گزینش زمان نخستین رسید روی آن اعمال گردیده و از الگوریتم تصحیح [۲] نیز برای تصحیح گزینش‌های پرت استفاده شده است.

با توجه به نتایج گزینش در شکل-۳ که از روش‌های کوپنز و آنتروپی برای گزینش نخستین رسید استفاده شده مشهود است که روش‌های یاد شده تا حد مناسبی نخستین زمان رسید را برآورد کرده‌اند و حتی روش کوپنز بهتر از روش آنتروپی عمل کرده است.

به‌عنوان مثالی دیگر، روش کوپنز بهبودیافته به‌همراه الگوریتم تصحیح روی یک لرزه نگاشت واقعی مربوط به چشمه‌ی دینامیت آزمایش شد که نتیجه‌ی آن در شکل-۴ نمایش داده شده است. نتایج مربوط به گزینش نخستین زمان رسید تا حد زیادی مطلوب است و می‌توان همبستگی بین گزینش‌ها را در ردلرزه‌های مختلف مشاهده کرد. این در صورتی است که تعداد کمی از ردلرزه‌ها این‌طور نیست و مقدار کمی افتادگی وجود دارد که این به دلیل ناکامل بودن روش‌های بالاست و اینکه این روش‌ها بی‌عیب نیستند.

نتیجه‌گیری

گزینش زمان نخستین رسید از مراحل مهم و ابتدایی پردازش داده‌های لرزه‌ای است که دقت در انتخاب زمان در آن از اهمیت زیادی برخوردار است. در دهه‌های اخیر روش‌های متعددی ارائه شده که به‌صورت دستی و نیمه‌خودکار به گزینش زمان نخستین رسید می‌پردازند، اما به‌طور کلی به نظارت مستقیم کاربر وابسته هستند. در این مقاله توضیح داده شد که چگونه با استفاده از دو روش کوپنز بهبودیافته و آنتروپی، زمان نخستین رسید به‌صورت خودکار گزینش می‌شود و روند این روش‌ها کمترین نیاز را به دخالت کاربر دارند. همچنین دیده شد که با استفاده از الگوریتم تصحیح می‌توان گزینش‌های غلط یا پرت را برطرف کرده و یک مدل بهینه‌تر ارائه نمود. در پایان این مقاله (پیوست آ) نیز یک روش هموار کننده معرفی می‌شود که علاوه بر هموار کردن، قادر به حفظ لبه‌ها نیز هست و در زمینه‌های پردازش و تفسیر داده‌های لرزه‌ای کاربرد دارد. روش‌های یاد شده روی داده‌های لرزه‌ای واقعی مربوط به چشمه‌ی ویبراتور و دینامیت اعمال شدند و مشاهده گردید که این روش‌ها حتی در لرزه نگاشت‌های مربوط به چشمه‌ی ویبراتور (که در نزدیکی زمان رسید اعوجاج‌هایی وجود دارد) نیز به‌خوبی عمل می‌کنند.

پیوست آ

هموارکننده‌ی حافظ لبه^{۱۱} (EPS) روشی آماری برپایه‌ی پردازش فیلترینگ است که جهت کاهش نوفه با حفظ اکثر تغییرات و افتادگی‌های قابل ملاحظه (لبه‌ها) در داده استفاده می‌شود [۱۳]. EPS را می‌توان به‌عنوان یک روش هموار کننده‌ی میانگین‌گیر متحرک با اندکی تغییر در نظر گرفت. این میانگین‌گیر متحرک تنها متغیر الگوریتم EPS، همان طول پنجره است. در اینجا با ارائه‌ی مثالی نشان داده می‌شود که آن چگونه کار می‌کند. مثلاً یک عملگر EPS پنج‌نمونه‌ای در نظر گرفته می‌شود. ξ یک نمونه‌ی دلخواه داده است و پنج پنجره‌ی جابجا شده‌ی شامل آن به‌صورت زیر هستند:

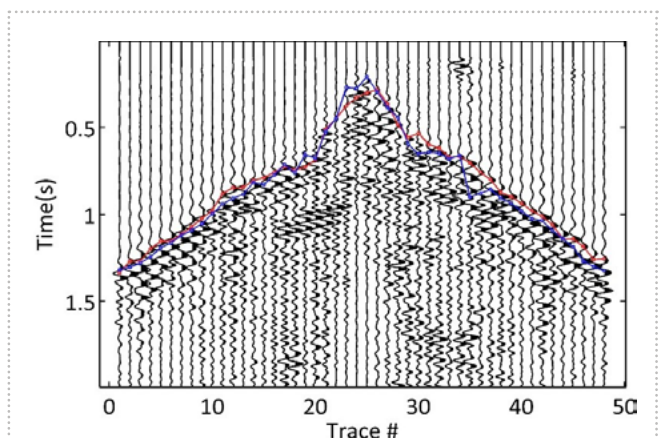
رسید واضح نباشد، گزینش انجام می‌شود. بنابراین با پیروی از مدل شکست مرزی احتمالی، خطوطی مستقیم شبیه‌سازی می‌شوند. از سوی دیگر اگر نشانگر فیلتر شده برای بعضی ردلرزه‌ها ثابت باشد یا تغییرات نشانگر داخل پنجره‌ی تلورانس آنچنان آنی نباشد که پیشینه‌ی محلی در آن مشخص گردد، از آن ردلرزه‌ها صرف‌نظر می‌شود. به‌عبارت دیگر نخستین رسیده‌های نهایی در بازه‌ی زیر گزینش می‌شوند:

$$|t - t_r| < \frac{n_{tol}}{4} \quad (6)$$

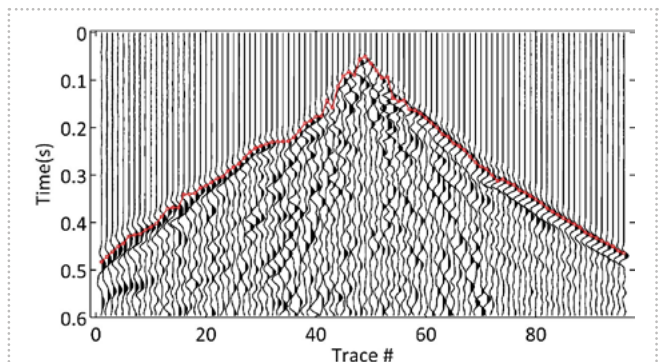
که t_r زمان مربوط به خطوط مستقیم مدل شکست مرزی نهایی حاصل از مرحله‌ی چهارم است. بنابراین n_{tol} باید طوری انتخاب شود که تضمین کند n_{tol} بزرگ‌تر از بیشترین تصحیح استاتیگ مورد انتظار از داده است.

۳- آزمایش روی لرزه نگاشت‌های واقعی

روش‌های پیشنهادی روی یک لرزه نگاشت آزمایش شد که نتیجه‌ی آن در این بخش نمایش داده شده است. شکل-۳ یک لرزه نگاشت چشمه‌ی مشترک با چشمه‌ی ویبراتور و با $dt=4ms$ و $dx=100m$ را نمایش می‌دهد که از مجموعه داده‌های ایلماز [۱] انتخاب شده،

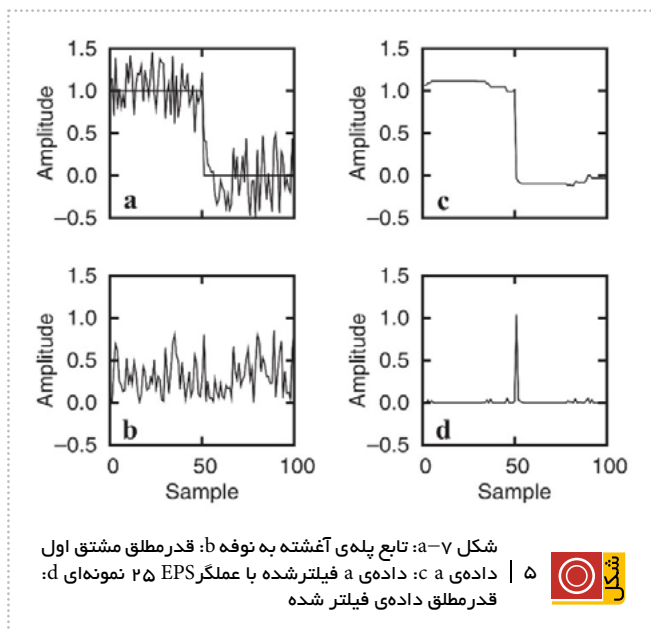


شکل ۳ | لرزه نگاشت شماره‌ی ۴- مربوط به چشمه‌ی ویبراتور و زمان رسیده‌های گزینش شده توسط روش کوپنز (نوار قرمز) و روش آنتروپی (نوار آبی)



شکل ۴ | لرزه نگاشت مربوط به چشمه‌ی دینامیت که در آن زمان رسیده‌ها با روش کوپنز بهبودیافته همراه الگوریتم تصحیح گزینش شده‌اند (خطوط قرمز)

EPS، محل پله به طور مشخص مشهود می شود (شکل-۷-۱) و می توان به راحتی محل دقیق آنرا با اعمال مشتق شناسایی کرد (شکل-۷-۲).



$$window_1 : (s_{i-4}, s_{i-3}, s_{i-2}, s_{i-1}, s_i)$$

$$window_2 : (s_{i-3}, s_{i-2}, s_{i-1}, s_i, s_{i+1})$$

$$window_3 : (s_{i-2}, s_{i-1}, s_i, s_{i+1}, s_{i+2})$$

$$window_4 : (s_{i-1}, s_i, s_{i+1}, s_{i+2}, s_{i+3})$$

$$window_5 : (s_i, s_{i+1}, s_{i+2}, s_{i+3}, s_{i+4})$$

در خروجی، در نمونه‌ی s_i مقدار میانگین پنجره‌ای که کمترین انحراف معیار را دارد جاگذاری می شود. این فرآیند برای همه‌ی نمونه‌های داده تکرار می شود. به عنوان یک نتیجه، این فیلتر میانگین پنجره با بیشترین همگنی در اطراف نمونه‌ی i را به محل نقطه‌ی i می گمارد. بنابراین اگر یک پنجره شامل تغییر ناگهانی باشد، انحراف معیار بزرگ خواهد بود و این پنجره انتخاب مناسبی برای خروجی EPS نیست. در نتیجه نوفه با میانگین گیری فیلتر می شود و لبه‌ها باقی می ماند. روش EPS در شکل-۷-۱ در قالب یک مثال نشان داده شده است. یک تابع پله‌ی آغشته به نوفه‌ی تصادفی در شکل-۷-۱ نشان داده شده است. شکل-۷-۲ به قدرمطلق مشتق آنرا نشان می دهد. به وضوح محل پله با نوفه پوشیده شده و به سادگی قابل تشخیص نیست. پس از اعمال عملگر ۲۵ نمونه‌ای

پانویس‌ها

- | | | |
|--------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1. agholami@ut.ac.ir | 5. Coppens's method | 9. Correcting mispicks |
| 2. a.javaheri@niocexp.ir | 6. Edge-Preserving Smoothing | 10. Tolerance |
| 3. Sweep correlation | 7. Modified Coppens's method | 11. Edge-preserving smooting |
| 4. Dead trace | 8. Entropy method | |

منابع

- [1] Yilmaz, O., 2001, Seismic data analysis: Processing, inversion, and interpretation of seismic data: SEG Investigations in Geophysics Series No. 10.
- [2] Juan I. Sabbione, and Danilo Velis, 2010, Automatic first-breaks picking: New strategies and algorithms: Geophysics, 75, NO. 4, P. V67-V76.
- [3] Peraldi, R., and A. Clement, 1972, Digital processing of refraction data: Study of first arrivals: Geophysical Prospecting, 20, 529-548.
- [4] Hatherly, P., 1982, a computer method for determining seismic first arrival times: Geophysics, 47, 1431-1436.
- [5] Gelchinsky, B., and V. Shtivelman, 1983, Automatic picking of first arrivals and parameterization of travelttime curves: Geophysical Prospecting, 31, 915-928.
- [6] Coppens, F., 1985, First arrivals picking on common-offset trace collections for automatic estimation of static corrections: Geophysical Prospecting, 33, 1212-1231
- [7] Spagnolini, U., 1991, Adaptive picking of refracted first arrivals: Geophysical Prospecting, 39, 293-312.
- [8] Murat, M., and A. Rudman, 1992, automated first arrival picking: A neural network approach: Geophysical Prospecting, 40, 587-604.
- [9] Yung, S. K., and L. T. Ikelle, 1997, an example of seismic time picking by third order bicoherence: Geophysics, 62, 1947-1951.
- [10] Boschetti, F., M. Dentith, and R. List, 1996, A fractal-based algorithm for detecting first arrivals on seismic traces: Geophysics, 61, 1095-1102.
- [11] Jiao, L., and W. M. Moon, 2000, Detection of seismic refraction signals using a variance fractal dimension technique: Geophysics, 65, 286-292.
- [12] Tibuleac, I. M., E. T. Herrin, J. M. Britton, R. Shumway, and A. C. Rosca, 2003, Automatic secondary seismic phase picking using wavelet transform: Proceedings of the 25th Seismic Research ReviewSRR-03, Nuclear Explosion Monitoring: Building the Knowledge Base, Session 3-04, 352-359.
- [13] Luo, Y., M. Marhoon, S. A. Dossary, and M. Alfaraj, 2002, Edge-preserving moothing and applications: The Leading Edge, 21, 136-158.
- [14] Denis, A., and F. Crémoux, 2002, using the entropy of curves to segment a time or spatial series: Mathematical Geology, 34, 899-914.