

СЕЙСМИК ҲОДИСАЛАРНИ АНИҚЛАШДА АЛГОРИТМ ВА МАТЕМАТИК ИШЛОВ БЕРИШНИНГ АЙРИМ ЖИҲАТЛАРИ

Шаякубова Мухтабар Зиядуллаевна,
докторант (PhD)

Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Сейсмология институти

Аннотация. Уч компонентли станция маълумотлари асосида сейсмик ҳодисаларни аниқлаш тизимидан сейсмик ҳодисаларни рўйхатга олиш муаммоларини ҳал қилишда фойдаланиш мумкин. Улар автоматик равишда битта станциядаги уч компонентли ёзувларни таҳлил қилиш орқали сейсмик ҳодиса жойларини аниқлайди. Ахборотни қайта ишлаш, алгоритмлар ва фойдали сигнал ажратиш дастурларини яратиш, сейсмик тўлқинларнинг кириш вақти, максимал амплитудаларнинг катталиги ва тегишли тебраниш даври, zilзила жойининг координаталарини аниқлаш билан боғлиқ методик ишланмаларни талаб қилади.

Таянч тушунчалар: zilзила, сигнал, амплитуда, тўлқин, алгоритм, уч компонентли, ишлов бериш, тебраниш, шовқин, поляризация, спектр, магнитуда, анализатор, локация, ўчоқ.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И СОЗДАНИЯ АЛГОРИТМА ОБНАРУЖЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

Шаякубова Мухтабар Зиядуллаевна,
докторант (PhD)

Институт сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан

Аннотация. На основе данных трехкомпонентной станции можно использовать систему обнаружения сейсмических событий для решения проблем записи сейсмических событий, которая автоматически определяет местоположение сейсмических событий путем анализа трехкомпонентных записей одной станции. Обработка информации требует методических разработок, связанных с созданием алгоритмов и программ выделения полезного сигнала, определения времени вступлений сейсмических волн, величин максимальных амплитуд, соответствующего периода колебаний и координат местоположения землетрясения.

Ключевые слова: землетрясение, сигнал, амплитуда, волна, алгоритм, трехкомпонентный, обработка, колебания, помехи, шум, поляризованный, спектр, магнитуда, анализатор, локация, очаг.

SOME ASPECTS OF MATHEMATICAL PROCESSING AND CREATION OF AN ALGORITHM FOR DETECTING SEISMIC EVENTS

Shayakubova Mukhtabar Zaidullaeva,
PhD student

Institute of Seismology of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

Abstract. Based on the data of a three-component station, it is possible to use a seismic event detection system to solve problems of recording seismic events, which automatically determines the location of seismic events by analyzing three-component records of one station. Information processing requires methodological developments related to the creation of algorithms and programs for extracting a useful signal, determining the time of entry of seismic waves, the values of the maximum amplitudes, the corresponding period of vibrations and the coordinates of the earthquake location.

Keywords: earthquake, signal, amplitude, wave, algorithm, three-component, processing, vibrations, interference, noise, polarized, spectrum, magnitude, analyzer, location, focus.

Введение

Создание автоматизированной системы наблюдений предусматривает проведение оперативной машинной обработки информации и требует методических разработок, связанных с созданием алгоритмов и программ выделения полезного сигнала на фоне сейсмических помех, определения времени вступлений сейсмических волн, величин максимальных амплитуд и соответствующего им периода колебаний, а в конечном итоге – координат местоположения энергетических характеристик землетрясения.

В руководствах по теории обнаружения сигналов основное внимание уделяется построению оптимальных алгоритмов, требующих полного статистического описания входных сигналов и шумов.

При создании алгоритма обнаружения наблюдатель не располагает полным статистическим описанием полезного сейсмического процесса, появляющегося на входе устройства.

Статистические характеристики входных данных могут изменяться во времени или могут оказаться различными для решения всевозможных сейсмологических задач.

Основная часть

Полезные сейсмические сигналы землетрясения распространяются в виде продольных P и поперечных S объемных волн, которые можно рассматривать как недиспергирующие линейно поляризованные группы вступлений. Энергетический спектр этих волн находится в интервале 3-0,1 гц для естественных событий малой и умеренной магнитуд. Волны P достигают амплитуды первыми. Максимум мощности волн P обычно наблюдается в полосе от 0,6 до 2,0 гц, их кажущаяся фазовая скорость вдоль земной поверхности составляет от 5-6 км/сек. до ∞ – в случае прямых волн P и около 8 км/сек. – скорость соответствующих поперечных волн, которая примерно в $\sqrt{3}$ раз меньше скорости продольных. Максимум их мощности расположен в интервале 0,5÷0,01 гц.

Фазовая скорость для этих волн составляет от 3 до 4 км/сек. или несколько больше, в зависимости от глубинного строения [1, 2].

При обработке основным и часто употребляемым в практике признаком, характеризующим появление события, является пороговое превышение амплитуды полезного сигнала над помехой (амплитудный признак). Амплитуды полезного сигнала от носителя определяется по мощности сейсмического шума, измеренного на определенном интервале времени (t_j, t_k):

$$\beta = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_k}^{t_j} |A(t)| dt, \quad (1)$$

где β – мощность сейсмического шума в интервале времен $t_j - t_k = \Delta t$;

$A(t)$ – мгновенная величина сейсмического шума.

Алгоритм амплитудного анализатора основан на нахождении точек пересечения линии порога с полезным сигналом и выражается, как:

$$|A_{ti}| = K\beta - \text{сигнал} + \text{шум} - (1)^1;$$

$$|A_{ti}| < K\beta - \text{шум} - (0)^1, \quad (2)$$

где A_{ti} – мгновенное значение входного сигнала в $t_j < t_k$;

$(1)^1$ и $(0)^1$ – решения амплитудного анализатора.

Входной сигнал (сейсмический шум или полезный сигнал плюс шум) поступает на измеритель мощности сейсмического шума и амплитудный анализатор. При срабатывании амплитудного признака включается алгоритм определения точек пересечения сигнала с порогом, данные о которых поступают в анализаторы: регулярности, симметричности и частотный.

Если какой-либо из признаков выдает решение «входной сигнал – шум», система обнаружения возвращается к исходному состоянию со сдвигом по времени до места последнего превышения.

При решении всех анализаторов «входной сигнал – полезное событие – шум» обнаружитель дает положительное заключение, после чего начинает работать программа определения времени

начала полезного события. Программа определяет: время первого превышения согласно синхронно действующему каналу времени; производит спуск по фазе до амплитуды, равной величине мощности сейсмического шума, и вычисляет поправку – $dt\varphi$.

Основанный на подсчете результатов обнаружения по всем каналам и выдачи решения согласно отношению:

$$\frac{\sum \text{каналов, в которых есть полезный}}{\sum \text{всех анализируемых каналов}} \geq 0,5,$$

а также признак, действующий согласно выражению:

$$t_0^n - t_0^m \leq \frac{p}{v},$$

где $t_0^n - t_0^m$ – время начала событий по каким-либо двум каналам;

p – расстояние между n и m станциями;

v – наименьшая возможная скорость распространения продольной волны.

Локация очагов землетрясений по инструментальным данным, несмотря на свою более чем полувековую историю, продолжает оставаться в центре внимания сейсмологической практики. Появление сейсмометрических автоматизированных групп, в которых вся сейсмическая информация передается в центр сбора и обработки данных, где она непосредственно вводится в вычислительную машину, заставляет еще раз обратиться к вопросу выбора способа определения координат очагов землетрясений и оценки его погрешностей с позиций случайной (инструментальной) ошибки.

В большинстве случаев методом определения координат источника является выражение, описывающие распространение сейсмических волн в пространстве:

$$V_j (t_{ij} - t_0) = \quad (3)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n,$$

где x_i, y_i, z_i – координаты i -й станции;

x_0, y_0, z_0 – координаты землетрясения;

t_{ij} – время прихода j -й сейсмической волны на i -ю станцию;

t_0 – время возникновения события;

V_j – скорость j -й волны в среде.

Способ засечек имеет преимущества и недостатки: для решения требуются как минимум данные трех сейсмических станций; имеет наименьшие погрешности при определении эпицентрального расстояния, но для него необходима высокая идентификация S-волны на фоне уже происходящего события. При машинной обработке определение t_{is} связано с большими ошибками [3, 4].

Достаточно двух станций при условии знания скоростной характеристики продольной волны. В полярной системе координат решение выражается как:

$$(t_{ip} - t_{kp}) V_p = p_i \cos \varphi^*, \quad (4)$$

где t_{ip} и t_{kp} – время вступлений Р-волны на i -й и k -й станции;

p_i – расстояние между опорной 0-й и i -й станцией;

φ^* – азимут на эпицентр землетрясения относительно линии, соединяющей i -ю и 0-ю станции.

Так как при обработке предполагается, что нам неизвестна модификация Р-волны, приходящей в первой фазе, а также неизвестна фиктивная скорость, из выражения исключается V_p с помощью привлечения информации 3-й станции:

$$\left. \begin{aligned} (t_{ip} - t_{0p}) V_p &= p_i \cos(a_i - \varphi); \\ (t_{kp} - t_{0p}) V_p &= p_k \cos(a_k - \varphi), \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где t_{0p} – время вступления Р-волны на опорную 0-ю станцию;

a_i и a_k – углы между направлением на север и осям, соединяющими 0-ю или k -ю станции;

φ – азимут на источник.

Исключим V_p и, поделив одно уравнение на другое, получаем:

$$p_k (t_{ip} - t_{0p}) \cos(a_k - \varphi) = (t_{kp} - t_{0p}) p_i \cos(a_i - \varphi). \quad (6)$$

Обозначив $t_{ip} - t_{0p} = t_{10}$ и $t_{kp} - t_{0p} = \Delta t_{20}$, переходим к декартовой системе координат:

$$p_i \cos a_i = y_i;$$

$$p_k \cos a_k = y_k;$$

$$p_i \sin \alpha_i = x_i; p_k \sin \alpha_k = x_k;$$

где x_i ; x_k ; y_i ; y_k – координаты 1-й и 2-й станций.

При условии, что центральная станция находится в начале координат, получим:

$$\varphi = \arctg; \quad (7)$$

Однако данные программы нацелены на работу с большими сетями станций и сейсмическими группами и не позволяют получать автоматическую локацию по одиночным станциям. В то же время при изучении локальной слабой сейсмичности события часто регистрируются лишь одной ближайшей станцией, а в условиях разряженных сетей наблюдения такая ситуация становится типичной. Сеть сейсмических станций в сейсмоактивных регионах остается достаточно разряженной, а в так называемых асейсмических районах расстояние между станциями сети постоянного мониторинга достигает несколько сотен километров.

Выводы

Создание сложной программной платформы для специальной конфигурации региональной сейсмической станции позволит автоматически обна-

руживать сейсмические местоположения, а также создавать и поддерживать каталог землетрясений [5]. Этот процесс включает в себя: разработку алгоритмов обработки сейсмических данных, разработку автоматической системы обнаружения землетрясений, создание базы данных сейсмических событий и выбор скоростных моделей для региона.

Как правило, эпицентр землетрясения определяется только после поступления информации на несколько станций в системе наблюдений.

Широкополосные сейсмометры повысили чувствительность регистрации сейсмических событий, но данные отдельных станций не анализируются из-за ограниченного числа станций реального времени в сейсмической системе.

На основе данных трехкомпонентной станции можно использовать систему обнаружения сейсмических событий для решения проблем записи сейсмических событий, которая автоматически определяет местоположение сейсмических событий путем анализа трехкомпонентных записей одной станции.

Источники и литература

1. Шеннон К. Математическая теория связи // Работы по теории информации и кибернетики: сборн. – М.: ИЛ, 1964.
2. Якубов М.С. Некоторые способы аппаратной телеметрии сейсмических сигналов // Сейсмические приборы: сборн. – Вып. – М.: Наука, 1973.
3. Якубов М.С. Эпицентральная сейсмотелеметрическая система // Информационные сообщения. – Вып. – Т., 1974.
4. Якубов М.С., Негребецкий С. Электронная схема автоматического измерения разностей моментов вступления сейсмических волн // Сейсмические приборы: сборн. – Вып. – М.: Наука, 1975.
5. Шаякубова М.З. Разработка системы автоматической локации сейсмических событий по данным трехкомпонентной станции // Актуальные проблемы нефтегазовой геологии и инновационные методы и технологии освоения углеводородного потенциала недр: матер. Междунаро. научно-практ. конф. – Т., 2019.

Рецензент:

Туйчиев А.И., доктор физико-математических наук, ученый секретарь Института сейсмологии АН РУз.