

AN ALGORITHM FOR CALCULATION OF SYNTHETIC SEISMOGRAMS IN A LAYERED HALF-SPACE WITH APPLYING MATRIX IMPEDANCE

Victor Pavlov

Kamchatkan Branch of Geophysical Survey of RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

A new semianalytic algorithm is proposed for calculating complete synthetic seismograms caused by a moment-tensor point source in a plane-parallel medium consisting of homogeneous elastic isotropic layers. Following to the idea of work [2], an artificial cylindrical boundary (ACB) is introduced, on which definite conditions are assigned. This allows to derive the representations for a displacement and the tension on a horizontal plane in frequency domain which include series over discrete wavenumbers.

Unknown coefficients of the representations depend on depth and form the stress-motion vector that satisfies a system of ordinary differential equations. The matrix impedance (see [3, 9]), i.e., the matrix function of depth, by which motion vector must be multiplied in order to obtain the stress vector, is introduced for solving this system. An independent nonlinear equation is obtained for the impedance. The propagator for the motion vector is constructed with the aid of the impedance. The closed analytical formulas, which do not contain any exponents with positive indices, are obtained both for the impedance and for the motion-vector propagator. The algorithm for the calculation of seismograms, free of limitations on the number and thickness of layers, as well as on the frequency range of interest, is constructed on the basis of these formulas. The algorithm is tested with the aid of an analytical solution (fig. 1, 2).

The proposed algorithm is a development of the Fat'yanov [4] method based on the use of the displacement potentials and the so-called auxiliary functions. In author's works [3, 9] the auxiliary functions (matrix impedance) were introduced directly for the motion-stress vectors without using of the potentials.

The algorithm differs radically from other algorithms existing at the present time (see [1, 5-8] among others).

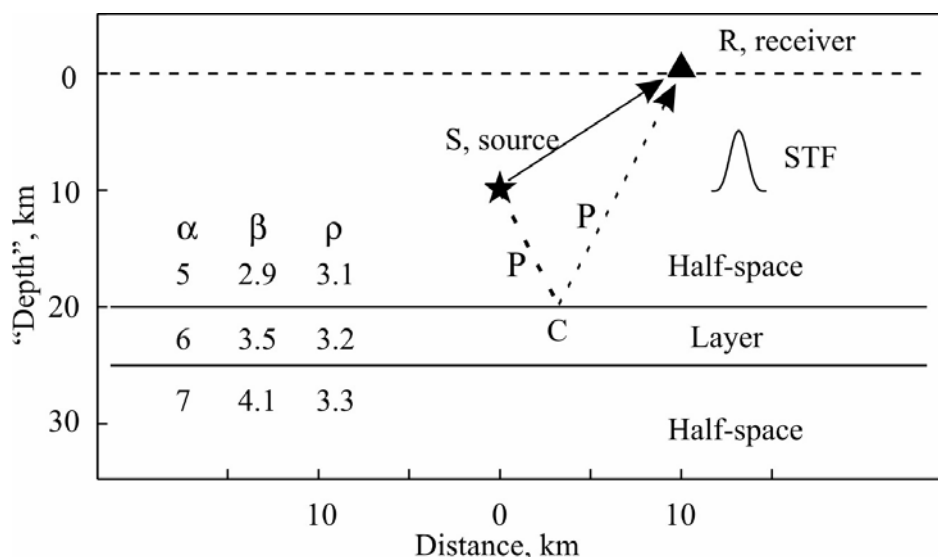


Fig.1. Two half-spaces divided by the layer of power 5 km. The source "depth" is 10 km. The receiver is located at depth 0 km and epicentral distance 10 km. The velocity and density values are shown. STF is the source time function; its duration is 0.25 s. The reflected PP wave (ray SCR) arrives at the receiver in 6.3 s. Before this time the direct waves at R are the same as in unbounded space.

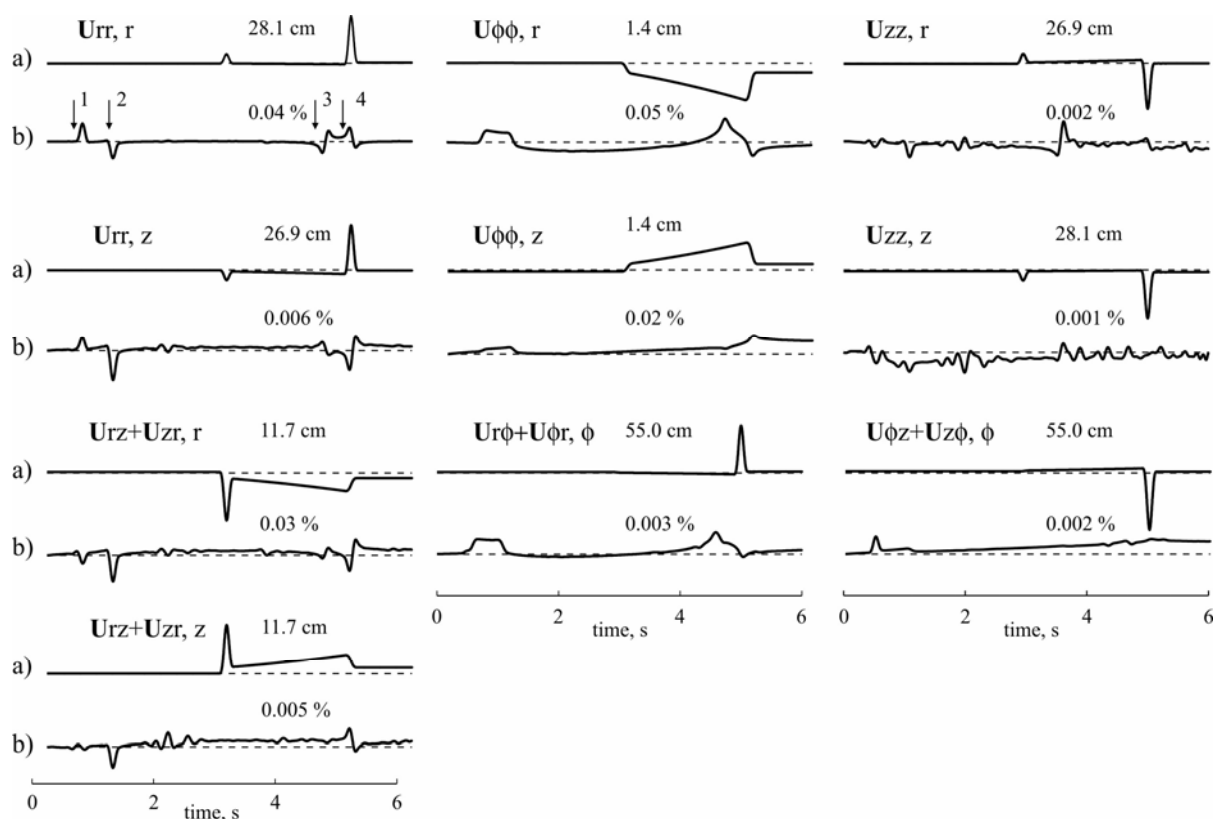


Fig. 2. Green's functions (convolved with STF) calculated by the algorithm (a) and differences between algorithm and analytical solution (b). U_{pq} ($p, q=r, \phi, z$) – displacement vector caused by the moment tensor component $M_{pq}=M_0$ ($M_{qp}=M_{pq}$, $M_0=10^{18}$ Nm). The distance to ACB is 86 km. The arrows mark the waves reflected from ACB. The waves 2 and 4 reflect firstly from the layer and then from ACB. Absolute amplitude values and percent ratio to them are shown.

References

1. Aki K., Richards P.G. Quantitative seismology. W.H. Freeman and Company. San Francisco. 1980.
2. Alekseev A.S., Mikhilenko B.G. The solution of dynamic problems of elastic wave propagation in inhomogeneous media by a computation of partial separation of variables and finite-difference methods. J. Geophys., v. 48, pp. 161-172, 1980.
3. Pavlov V.M. Matrix impedance in the problem of the calculation of synthetic seismograms for a layered-homogeneous isotropic elastic medium. Izvestiya, Physics of the Solid Earth, 2009. V. 45. No. 10. P. 848–858.
4. Fatyanov A.G. A semianalytical method for solution of direct dynamic problems in layered media. Doklady AN SSSR. 1990. V. 310. No 2. P. 323-327 (in Russian).
5. Bouchon M. A review of the discrete wavenumber method//Pageoph. 2003, 160, 445–465.
6. Kennett B.L.N. Seismic wave propagation in stratified media. Cambridge: Cambridge University Press. 1983. 342 p.
7. Muller G.. The reflectivity method: a tutorial. J. Geophys., v. 58, pp. 153-174, 1985.
8. Panza, G.F., Romanelli, F. and Vaccari, F. Seismic wave propagation in laterally heterogeneous anelastic media: theory and applications to seismic zonation. Advances in Geophysics. 2001. V. 43. P. 1-95.
9. Pavlov V.M. A convenient technique for calculating synthetic seismograms in a layered half-space. Proceedings of the International Conference "Problems of Geocosmos" / St. Petersburg: 2002. P. 320-323.

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА СИНТЕТИЧЕСКИХ СЕЙСМОГРАММ В СЛОИСТОМ ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТРИЧНОГО ИМПЕДАНСА

Павлов В.М.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г.Петропавловск-Камчатский

Предлагается новый метод расчета полных синтетических сейсмограмм от дипольного точечного источника в плоскопараллельной среде, состоящей из однородных упругих изотропных слоев. Следуя идее работы [2], вводится искусственная цилиндрическая граница (ИЦГ), на которой задаются определенные условия. Это позволяет получить представления для смещения и напряжения на горизонтальной плоскости в частотной области в виде рядов по дискретным волновым числам.

Неизвестные коэффициенты, входящие в представления, зависят от глубины и образуют вектор движения-напряжения, который удовлетворяет системе обыкновенных дифференциальных уравнений.

Для решения этой системы уравнений вводится матричный импеданс [3, 9] – матричная функция глубины, на которую нужно умножить вектор движения, чтобы получить вектор напряжения. Для импеданса получается самостоятельное нелинейное уравнение. С помощью импеданса строится пропагатор для вектора движения. Как для импеданса, так и для пропагатора вектора движения получаются замкнутые аналитические формулы, не содержащие экспонент с положительными показателями. На основе этих формул строится алгоритм расчета сейсмограмм, свободный от ограничений на число и толщину слоев, а также на диапазон частот, представляющих интерес. Алгоритм тестируется с помощью аналитического решения (рис. 1, 2).

Предлагаемый алгоритм является развитием метода Фатьянова [4], в основе которого лежит использование потенциалов смещений и так называемых, вспомогательных функций. В работах автора [3,9] вспомогательные функции (матричный импеданс) были введены непосредственно для векторов движения-напряжения без использования потенциалов.

Алгоритм принципиально отличается от других, существующих в настоящее время [1, 5-8] (ссылки не претендуют на полноту).

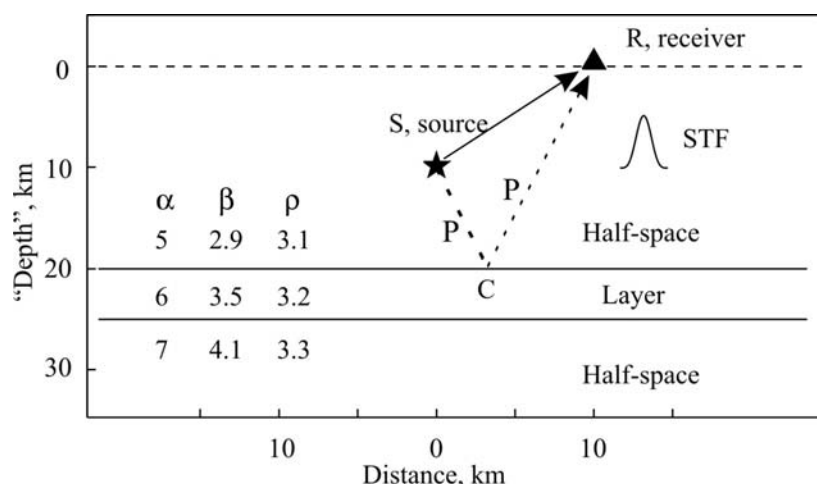


Рис. 1. Два полупространства, разделенные слоем мощности 5 км. Источник (И) – на глубине 10 км. Приемник (П) – на глубине 0 км и на эпицентральной расстоянии 10 км. Приведены значения скоростей и плотности. ВФИ – временная функция источника с длительностью 0.25 с. Отраженная РР-волна (луч ИОП) приходит в П через 6.3 с. До этого времени прямые волны такие же, как в безграничном пространстве.

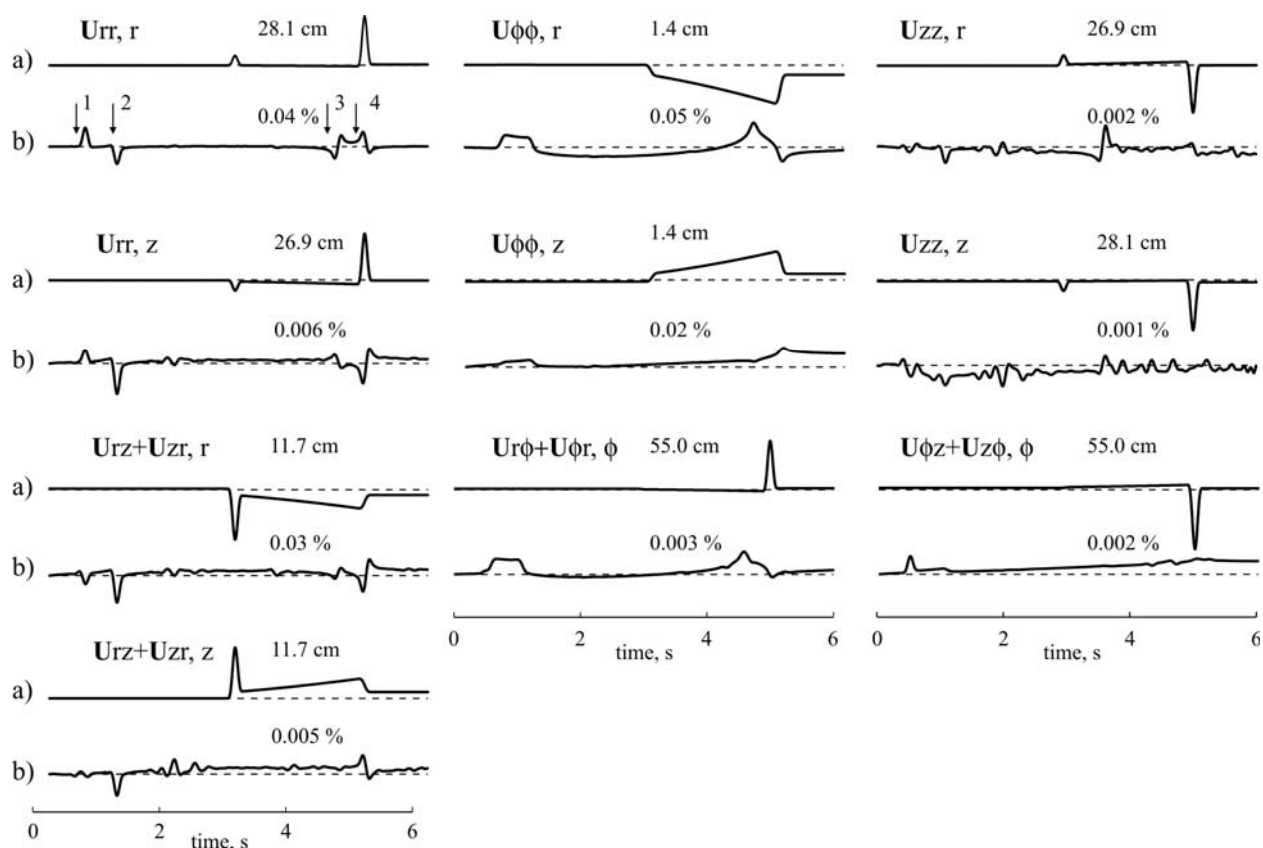


Рис. 2. Функции Грина (свернуты с ВФИ), рассчитанные по алгоритму (а) и их разности с аналитическим решением (б). U_{pq} ($p, q = r, \phi, z$) – вектор смещений, порождаемый компонентой $M_{pq} = M_0$ ($M_{qp} = M_{pq}$, $M_0 = 10^{18}$ Нм). Расстояние до (ИЦГ) 86 км. Стрелками помечены импульсы, отраженные от ИЦГ. Импульсы 2, 4 сначала отразились от слоя, а затем от ИГ. Приведены максимальные (по модулю) амплитуды; для разностей – отношение к этим амплитудам в процентах.

Список литературы

1. Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология. Т. 1. М.: Мир. 1983. 520 с.
2. Алексеев А.С., Михайленко Б.Г. Метод расчета теоретических сейсмограмм для сложнопостроенных моделей сред // Доклады АН СССР. 1978. Т. 240. № 5. С. 1062-1065.
3. Павлов В.М. Матричный импеданс в задаче расчета синтетических сейсмограмм в слоисто-однородной изотропной упругой среде // Физика Земли. 2009. № 10. С. 14-24.
4. Фатьянов А.Г. Полуаналитический метод решения прямых динамических задач в слоистых средах // Доклады АН СССР. 1990. Т. 310. № 2. С. 323-327.
5. Bouchon M. A review of the discrete wavenumber method // Pageoph. 2003, 160, 445–465.
6. Kennett B.L.N. Seismic wave propagation in stratified media. Cambridge: Cambridge University Press. 1983. 342 p.
7. Muller G.. The reflectivity method: a tutorial. J. Geophys., v. 58, pp. 153-174, 1985.
8. Panza, G.F., Romanelli, F. and Vaccari, F. Seismic wave propagation in laterally heterogeneous anelastic media: theory and applications to seismic zonation. Advances in Geophysics. 2001. V. 43. P. 1-95.
9. Pavlov V.M. A convenient technique for calculating synthetic seismograms in a layered half-space. Proceedings of the International Conference "Problems of Geocosmos" / St. Petersburg: 2002. P. 320-323.