

ПРЯМОЕ ПОЛНОВОЛНОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

Т.В. Левченко¹, В.Д. Левченко², А.В. Закиров², А.Ю. Перепёлкина²

¹ ВНИИГеосистем, 117105, Москва, Россия

² ИППМ им. М.В. Келдыша РАН, 125047, Москва, Россия

tatlevchenko@mail.ru

В настоящее время доступность распределенных высокопроизводительных вычислений пета- и эксафлопсного класса открывает перспективы для очередного качественного скачка в решении задач сейсморазведки. Такой скачок определятся новыми возможностями математического моделирования с обязательным выполнением следующих требований адекватности:

- модели геосреды трёхмерны по пространству и имеют необходимый набор сейсмофизических параметров;
- полноволновая пространственно-временная динамика сейсмического поля восстанавливается с возможностью выделения заранее выбранных типов волн и их групп с прослеживанием от источника до итоговых сейсмограмм на уровне амплитуд на порядки меньших уровня сейсмического «шума»;
- точность расчётов обеспечивает совпадение моделируемых сейсмограмм их реальным аналогам по временам первых вступлений и максимумов сигнала вдоль всего годографа, амплитуде и форме сигналов-откликов от целевых объектов.

Ключевой особенностью предлагаемого моделирования являются оригинальные локально-рекурсивные нелокально-асинхронные алгоритмы (LRnLA) вычислений, разработанные и реализованные авторами для решения широкого класса задач. Использование этих алгоритмов при решении реальных задач полноволнового моделирования позволяет приблизиться к пиковой производительности современных параллельных вычислительных систем с развитой иерархией подсистемы памяти.

Математической основой моделирования динамики сейсмического поля являются уравнения теории упругости гиперболического типа, где неизвестным является «сейсмическое поле» – вектор скорости смещений, а также тензоры деформаций и напряжений. Задача моделирования решается как задача Коши: в модельной области по заданному значению полей в начальный момент и условиям на границе рассчитывается временная эволюция сейсмического поля в каждой ее точке во все последующие моменты времени. Параметры модели для одного расчёта задаются с дискретностью 10м в кубе с длиной стороны 10км, то есть порядка миллиарда ячеек. Синтетические сейсмограммы сохраняются с интервалом порядка миллисекунды в течение десятков секунд. Для численного решения задачи используются явные численные схемы с локальным шаблоном. Конкретная схема при этом определяется так, чтобы удовлетворить требованиям точности дискретного решения, в частности, фазовых и групповых скоростей для дискретной среды, например конечно-разностные схемы на сдвинутых сетках второго порядка аппроксимации по времени и четвёртого порядка по координатам. Таким образом, в каждом расчёте требуется выполнить 10^{15} операций с плавающей точкой над данными размером 50Гбайт. Количество требуемых расчётов велико, но они могут выполняться независимо.

Алгоритмы LRnLA используют информационные структуры, характерные для задач с естественным ограничением максимальной скорости распространения возмущений (в данном случае – скорость продольных волн), и благодаря этому число требуемых барьерных синхронизаций для данных снижается на 2-3 десятичных порядка до нескольких десятков. Для решения прямых задач сейсморазведки создан программный код SUR/Geo-Prime на базе LRnLA.

DIRECT FULL-WAVE SIMULATION IN SEISMOLOGY EXPLORATION

T.V. Levchenko¹, V.D. Levchenko², A.V. Zakirov², A.Y. Perepelikina²

¹ *VNIIGeosystem, 117105, Moscow, Russia*

² *Keldysh Institute of Applied Mathematics, 125047, Moscow, Russia*
tatlevchenko@mail.ru

At the current state the availability of distributed high-performance calculations of the peta- and exaflops scale opens the prospects of another qualitative step forward. This step is determined by new possibilities of the mathematical simulation while taking into account the following adequacy requirements:

- the geo-environment models are spatially 3D and include an essential set of seismic physical parameters (density, Poisson coefficients, anisotropy, attenuation and shear modulus, etc.);
- full-wave space-time dynamics of the seismic field is reconstructed with the possibility of previously chosen wave types and their groups isolation along with their tracing from the source to the resulting seismogram at the amplitude scales that are less than seismic 'noise' level by several orders.
- the calculation accuracy provides the correspondence of the simulated seismograms with their real counterparts in such parameters as times of the first entry events and the signal maxima along the whole hodograph, the amplitude and the shape of the response signal, which are usually low in contrast.

The key aspect of the presented simulation are the original Locally Recursive non-Locally Asynchronous (LRnLA) algorithms of computations, which are developed and implemented by the authors for the solution of a large range of simulation problems. The use of these algorithms for the solution of the real problems of the full-wave simulation allows approaching the peak performance of the computational systems with the advanced memory subsystem hierarchy.

The mathematical basis of the seismic field dynamics simulation is a system of the elasticity equations of a hyperbolic type, in which the “seismic field”, i.e. dislocation velocity vector, the tensors of deformation and stress, is unknown. The simulation is processed as a Cauchy problem: from the defined field values in the simulation region at the initial time point and conditions at its boundary the seismic field values evolution in each cell of the simulation region at each time step are obtained. The geo-environment model parameters for a simulation are defined with 10m discrete step in a cube with a side length equal to 10km, i.e. about a billion of cells. The synthetic seismograms are saved each millisecond in a range of several dozens of seconds. For a numerical solution of such problem with the maximal efficiency the explicit numerical schemes with a local template are used. The specific scheme in this case is defined so as to satisfy the requirements of the

accuracy of the discrete solution, group and phase velocities accuracy in particular, such as the finite-difference scheme on a staggered grid of the second order in time and the fourth order in space. Therefore, in each simulation it is necessary to perform 10^{15} floating-point operations with the data of 50Gb size. The number of the necessary simulations is large, but they may be processed independently.

LRnLA algorithms utilize the informational structures indicative of the problems with the natural limitation of the maximal velocity of the perturbation propagation (the velocity of the longitudinal wave in this case) and thanks to this fact the number of the necessary barrier data synchronizations becomes less up to several dozen times. For the solution of the direct problems of seismology, a SUR/Geo-Prime code on the basis of the LRnLA algorithms has been developed.

POSTER
