

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ НА МНОГОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКЕ

Курако М.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Симонов К.В.

*Сибирский федеральный университет*

В нелинейной динамике до настоящего времени разработано две парадигмы. В рамках первой показано, что во многих открытых нелинейных системах вдали от равновесия происходит самоорганизация. При этом обычно возникают пространственно-неоднородные стационарные (т.е. не зависящие от времени) распределения переменных, которые И.Р. Пригожин предложил называть *диссипативными структурами*. Либо возникают периодические или непериодические колебания, которые стали называть *автоволновыми процессами*. Во второй парадигме основное внимание уделено динамическому хаосу – сложному непериодическому поведению в простейших детерминированных системах (т.е. в таких, где будущее однозначно определяется прошлым и настоящим и нет случайных факторов).

Одной из простейших характеристик динамических систем является спектр мощности – функция, показывающая, каким образом распределена по частотам их энергия. Динамика простых систем обыкновенно может быть описана характерной частотой, через которую легко выражаются характерные времена, длины и т.д. Для сложных систем типична обратная ситуация – отсутствие характерных частот. Еще одной отличительной чертой многих сложных систем являются степенные законы распределения вероятностей (СЗРВ), т.е. статистические характеристики происходящих в них событий обыкновенно имеют плотность вероятности вида:

$$p(x) \sim x^{-(1+\alpha)}, \alpha \in [0, 1] \quad (1)$$

При статистическом описании катастроф и стихийных бедствий распределение (1) является правилом, практически не знающим исключений. Статистика величин, описываемых распределением (1), говорит о том, что крупные события, приходящиеся на хвост распределения, происходят недостаточно редко, чтобы ими можно было пренебречь. По этой причине СЗРВ называют также распределениями с тяжелыми хвостами. Все вышесказанное говорит о том, что описание подобных нелинейных динамических систем является сложной задачей из-за отсутствия в системе характерных параметров (времен, расстояний, энергий). Поэтому для описания подобных систем применяются упрощенные модели, в которых используется небольшое количество параметров.

Работа посвящена проблеме краткосрочного прогнозирования землетрясений. Целью работы является построение алгоритма прогноза землетрясений на основе концепции «энергетического» клина (Сибгатулин В.Г., Симонов К.В., Перетокин С.А., 2004). Для достижения этой цели решаются следующие задачи: постановка задачи краткосрочного прогноза, построение модели прогноза, описание необходимых данных, разработка и реализация методов распределения вычислений на вычислительные узлы. Основным методом, используемым в работе – построение «энергетического» клина, моделирующего процесс подготовки сильного землетрясения для выделенной очаговой области.

Для построения «энергетического» клина для конкретной очаговой области подготовки сильного землетрясения необходима начальная обработка данных сейсмического мониторинга. В результате соответствующих численных процедур происходит

разделение точек данных на два множества, представляющих собой верхнюю и нижнюю выпуклые оболочки, имея ввиду экстремальные высокоэнергетические и, соответственно, низкоэнергетические сейсмические события. Для этого вычисляются узлы интерполяции, и строится интерполяционный многочлен Лагранжа, на основе которого строятся аппроксиманты, описывающие «энергетический» клин. Необходимые для работы алгоритма данные представляют материалы сейсмического мониторинга, которые формируются в каталог землетрясений (время, координаты, магнитуда землетрясения).

В связи с большим количеством обрабатываемых очаговых зон сильных землетрясений, необходимо использование многоядерных процессоров и кластеров, способных в режиме реального времени выполнять расчеты и отображать результаты моделирования. Для этого разработана и реализована модель распределения вычислений по очаговым зонам на различные параллельные вычислительные системы.

Общая схема распределения вычислений выглядит следующим образом. Выделяется диспетчер (поток в случае многоядерного процессора, процесс в случае кластера), который работает с базой данных, хранящей необработанные данные, и исполнителями (потоками или процессами на узлах кластера), непосредственно производящими вычисления энергетического клина. Диспетчер следит за обновлением данных, их корректностью и непротиворечивостью. Также диспетчер определяет текущий объем вычислений и выделяет необходимое количество ресурсов. При вычислениях не учитывается взаимозависимость между очагами, поэтому каждый очаг обрабатывается отдельным исполнителем. После определения объема вычислений и распределения данных исполнители обрабатывают данные и записывают готовые результаты обратно в базу данных, из которой они могут быть сразу же отображены на большом экране, позволяющем отслеживать ситуацию в режиме реального времени.

Реализация алгоритма осуществлена для двух типов параллельных архитектур. Первая реализация предназначена для симметричных SMP систем с общей памятью. Исходный код программы написан на языке C с использованием библиотеки pthread. Операционной системой выбран Suse Linux. Результатом является многопоточное приложение, в котором один поток является диспетчером и следит за обновлением данных, а остальные потоки, количество которых определяется диспетчером из объемов данных, выполняют необходимые вычисления над данными.

Эта программа протестирована на двух конфигурациях многоядерных компьютеров. Для ноутбука с двухядерным процессором Intel Core 2 Duo T7300 2.00GHz, оперативная память 1 Гб. По результатам тестов прирост производительности программы по сравнению с последовательной реализацией в зависимости от данных составляет 70-80%. И на персональном компьютере с четырехядерным процессором Intel Core 2 Quad Q6600 2.4 GHz, оперативная память 2 Гб. По результатам тестов прирост производительности составил в 3-3.5 раза в зависимости от данных по сравнению с последовательной реализацией алгоритма. Вторая реализация предназначена для кластерной архитектуры. Исходный код программы написан на языке C с использованием библиотеки MPI для взаимодействия узлов кластера и библиотеки pthread для взаимодействия потоков в рамках одного процесса каждого узла. Количество потоков также определяется в зависимости от количества данных, требующих обработки. Программа протестирована на кластере Новосибирского государственного университета.

Таким образом, рассмотрены несколько моделей описания нелинейных динамических систем применительно к очаговой зоне подготовки сильного землетрясения, за основу взята модель «энергетического» клина. Описан алгоритм построения модели прогноза и реализована модель распределения вычислений на узлы системы. Реализован алгоритм вычисления энергетических клиньев с помощью интерполяционных многочленов на многопроцессорной технике.