

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА ПОГОДЫ И УСВОЕНИЯ МЕТЕОДАНЫХ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИЙ MPI И OPENMP

М.А. Толстых, Н.Н. Богословский

Любая современная система численного прогноза погоды состоит из прогностической модели, ответственной за воспроизведение динамики глобальной атмосферной циркуляции, и системы усвоения данных реальных наблюдений, применяемой для оценки текущего состояния атмосферы.

Численный прогноз погоды с высоким пространственным разрешением требует больших вычислительных ресурсов, в частности, в связи с тем, что оперативный прогноз налагает ограничение на допустимое время счета модели атмосферы и системы усвоения данных наблюдений.

В настоящее время исследования с целью повышения качества численного прогноза погоды ведутся по следующим основным направлениям [1].

- a) **Повышение точности численного решения уравнений гидротермодинамики атмосферы.** Очевидным путем повышения точности решения является увеличение пространственного разрешения модели атмосферы. Здесь можно выделить две подзадачи - применение вычислительно эффективных численных методов и переход к негидростатическим уравнениям.
- b) **Учет физических процессов подсеточного масштаба.** Многие из опасных метеоявлений, правильный прогноз которых особенно важен с практической точки зрения, тесно связаны с мезомасштабными метеорологическими процессами. Примерами таких явлений служат шквалы, осадки ливневого характера. Воспроизведение мезомасштабных высоконелинейных процессов требует как высокого пространственного разрешения прогностической модели, так и адекватного учета неадиабатических процессов подсеточного масштаба. Традиционно модели учитывают радиацию в коротко- и длинноволновых частях спектра, турбулентный обмен в приземном пограничном слое и в свободной атмосфере, крупномасштабную конденсацию, глубокую и мелкую конвекцию, трение, генерируемое вертикально распространяющимися гравитационными волнами.
- c) **Улучшение оценки начального состояния атмосферы.** Данные наземных наблюдений (высотного радиозондирования атмосферы, метеорологические наблюдения на суше, кораблях, дрейфующих и заякоренных буях, самолетах) крайне неравномерно распределены по земному шару, имеют различные ошибки, и, в основном, привязаны к единым синоптическим срокам наблюдений.

Группировка геостационарных и полярно-орбитальных метеорологических спутников Земли обеспечивает непрерывное во времени и глобальное по охвату территории измерение интенсивности, поляризации, а также угловых и спектральных характеристик радиации, отраженной и испускаемой атмосферой и подстилающей поверхностью, и ряд других физических величин. Для получения метеорологических характеристик на основе этой информации требуется решить обратную задачу с привлечением априорной информации, либо построить алгоритмы, позволяющие напрямую усваивать измерения радиации с помощью прогностической модели атмосферы.

К числу наиболее актуальных проблем в этой области следует отнести задачу совместного усвоения данных наземных и спутниковых наблюдений, а также задачу оптимального «взвешивания» вкладов данных наблюдений и модельных прогнозов, используемых в качестве полей первого приближения, при оценке начального состояния атмосферы.

В докладе рассматривается применение вычислительных систем с многоядерными процессорами для расчета прогнозов с помощью оперативной глобальной полулагранжевой модели прогноза погоды [2] и расчета начальных данных для нее в рамках разрабатываемой системы усвоения данных.

Параллельный программный комплекс полулагранжевой модели численного прогноза погоды [3], реализованный с помощью сочетания технологий MPI и OpenMP, был представлен на конференции в 2005 и 2006 гг. С тех пор модель совершенствовалась без изменений в блоках, отвечающих за параллельную реализацию. Включение в модель более совершенных (а значит, использующих более сложные алгоритмы) параметризаций процессов подсеточного масштаба ожидаемо повысило параллельную эффективность программного комплекса.

Оперативная версия модели имеет разрешение $0,9^\circ$ по долготе, $0,72^\circ$ по широте; вертикальное разрешение - 28 уровней, рабочая версия имеет горизонтальное разрешение $0,56^\circ \times 0,45^\circ$ и 45 уровней. Будущая версия будет иметь разрешение около 20 км и не менее 60 уровней. Будут представлены результаты расчетов с помощью этого программного комплекса с различным разрешением на современных вычислительных системах с двух- и четырехъядерными процессорами.

В рамках работы, посвященной разработке системы усвоения данных наблюдений для оперативной глобальной полулагранжевой модели численного прогноза погоды [2], было реализовано вариационное усвоение данных наблюдений температуры на уровне 2 метра [4].

Основная идея вариационного подхода состоит в построении функционала стоимости

$J = J_b + J_o$, где J_b описывает невязку с вектором первого приближения (краткосрочный 6-ти часовой прогноз, стартовавший с предыдущего анализа), а J_o - невязку с вектором наблюдений. Его запись с использованием инкрементного подхода [5] имеет вид

$$J(\delta x) = \frac{1}{2} \delta x^T B^{-1} \delta x + \frac{1}{2} (d - H \delta x)^T R^{-1} (d - H \delta x)$$

где B, R - ковариационные матрицы ошибок прогноза и наблюдений соответственно, H - линейная аппроксимация оператора наблюдения H , $d = y^o - H(x^b)$, y^o - вектор наблюдений, x^b - вектор первого приближения. После минимизации данного функционала получаем значение инкремента δx . Добавляя это значение к вектору первого приближения, получаем вектор объективного анализа $x^a = x^b + \delta x^a$.

Самым трудоемкой частью вариационного алгоритма усвоения данных, с точки зрения вычислений на ЭВМ, является задача минимизации функционала. Трудность заключается в том, что даже для одного двумерного поля, например, приземной температуры, размерность вектора x составляет порядка 100000 элементов, а количество элементов матрицы B равно квадрату от этого числа. Еще одним ограничением, налагаемым оперативным использованием алгоритма, является время выполнения расчетов (данный алгоритм применяется для расчета поля объективного анализа приземной температуры в ГУ «Гидрометцентр России»).

Было выполнено распараллеливание алгоритма вариационного усвоения данных наблюдений приземной температуры с помощью технологий OpenMP и MPI. Предусматривается использование алгоритма на кластерных системах, состоящих из узлов с несколькими процессорами или многоядерными процессорами на общей памяти. Тестирование эффективности параллельной реализации проводилось на кластерах ИВМ РАН и МСЦ РАН. Кластер ИВМ РАН включает 16 вычислительных узлов, в каждом из которых установлено два 4-ядерных процессора Intel Xeon X5355 2,66ГГц и оперативная память объемом 8 Гб. Таким образом, максимальное количество нитей OpenMP составляет 8.

В результате тестирования усвоения приземной температуры удалось достичь ускорения в 6,2 раза при запуске с инициализацией 8 нитей при использовании только OpenMP. Применяя только MPI, удалось достичь ускорения в 67,9 раз при запуске 128 процессов. Будут представлены результаты распараллеливания для алгоритма, использующего сочетание технологий OpenMP и MPI.

ЛИТЕРАТУРА:

1. М.А. Толстых, А.В. Фролов “Некоторые современные проблемы численного прогноза погоды” // Изв. РАН, сер. Физика атмосферы и океана, 2005, Т.41, с. 315-327.
2. М.А. Tolstykh “Semi-Lagrangian high-resolution atmospheric model for numerical weather prediction” // Russian Meteorology and Hydrology, 2001, N 4, p. 1-9.
3. Е.М. Володин, М.А. Толстых “Параллельные вычисления в задачах моделирования климата и прогноза погоды” // Вычислительные методы и программирование, 2007, Т.8, с. 113-122.
4. Н.Н. Богословский, А.В. Шляева, М.А. Толстых “Усвоение почвенных и приземных переменных в глобальной полулагранжевой модели прогноза погоды” // Принято в Вычислительные технологии, Т.13, спец. выпуск CITES-2007, 2008г., 6 стр.
5. P. Courtier, E. Andersson, W. Heckley, J. Pailleux, D. Vasiljevic, M. Hamrud, A. Hollingsworth, F. Rabier and M. Fisher “The ECMWF implementation of three dimensional variational assimilation (3D-Var). I: Formulation” // Q. J. R. Meteorol. Soc., 1998:124, p. 1783-1807.