

ПЕРСПЕКТИВНАЯ СИСТЕМА СРЕДНЕСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ПОГОДЫ

М.А. Толстых, А.В. Шляева, В.Г. Мизяк, О.О. Милехин

На протяжении многих лет численный прогноз погоды остаётся одной из тех задач, решение которой требует огромных вычислительных ресурсов. Система глобального среднесрочного прогноза погоды состоит из прогностической модели атмосферы и системы усвоения данных наблюдений. Одним из основных путей уменьшения ошибок численного прогноза погоды является улучшение оценки состояния атмосферы, используемой в качестве начальных данных для прогностической модели. Вычислительная сложность алгоритмов усвоения данных и ограничение на время расчета начальных данных для прогностической модели диктует необходимость эффективной параллельной реализации системы усвоения данных. Современные системы усвоения данных наблюдений включают в себя многократные расчеты с помощью модели глобальной атмосферы. Учитывая требования оперативной эксплуатации, крайне важной является и эффективность параллельной реализации прогностической модели атмосферы.

В докладе рассматриваются две задачи:

1. Повышение масштабируемости параллельного программного комплекса глобальной полулагранжевой модели атмосферы ПЛАВ.
2. Параллельная реализация системы усвоения данных с помощью локального ансамблевого фильтра Калмана с преобразованием ансамбля (LETKF).
1. Основной моделью глобального среднесрочного прогноза погоды в России с конца 2009 года является глобальная полулагранжевая модель атмосферы ПЛАВ (ПолуЛагранжева, основанная на уравнении Абсолютной завихренности) [1]. Модель разработана в Институте вычислительной математики РАН и Гидрометцентре России с помощью консорциума ALADIN/LACE, предоставившего параметризацию процессов подсеточного масштаба. Внедрение этой модели позволило примерно в два раза сократить отставание России, по сравнению с лидирующей группой мировых прогностических центров, в ошибках прогноза таких важных параметров, как давление на уровне моря, температура на уровне 850 гПа и высота поверхности 500 гПа. Краткое описание параллельной реализации модели приводится в [2].

По современным меркам, разрешение оперативной версии модели является весьма грубым, поэтому коллективом разработчиков была реализована новая версия модели, имеющая горизонтальное разрешение 20–25 км, а вертикальное – 51 уровень. В 2011 году удалось добиться линейной масштабируемости кода этой версии модели на 432 процессорах. Параллельный программный комплекс модели пока использует одномерное разбиение расчетной области по широте для распараллеливания в рамках MPI. Эффективность обеспечивается сочетанием технологий распараллеливания MPI и OpenMP. В докладе представлены результаты работ по дальнейшему повышению параллельной эффективности программного комплекса модели атмосферы.

2. Усвоение данных решает в том числе задачу подготовки начальных полей для старта численной модели прогноза погоды. В качестве исходных данных выступают данные наблюдений (например, данные наземных станций, радиозондов, спутниковые наблюдения), а также первое приближение – обычно это краткосрочный прогноз модели на заданный срок. Оба источника данных содержат априори неизвестную ошибку. Задача усвоения данных заключается в получении поля т.н. анализа – наилучшей оценки состояния атмосферы в заданный момент времени.

В настоящее время широко распространены две группы методов усвоения данных: вариационное усвоение и усвоение с помощью ансамблевых фильтров Калмана. Классический фильтр Калмана прогнозирует не только состояние системы, но и матрицу ковариаций ошибок прогноза. Однако его применение на практике для современных моделей атмосферы невозможно ввиду огромных размерностей вектора состояния. Идея ансамблевых фильтров Калмана [3] заключается в статистической оценке матрицы ковариаций по ансамблю первых приближений, размерность которого значительно меньше размерности вектора состояния модели (порядка $10^1 - 10^2$). Такой подход позволяет учесть реальные физические свойства потока, достаточно несложен в реализации, но предполагает дополнительные вычислительные затраты для расчёта большого числа прогнозов.

Нами разработана параллельная реализация схемы усвоения на базе локального ансамблевого фильтра Калмана с преобразованием ансамбля (Local Ensemble Transform Kalman Filter, LETKF) [4], работающая совместно с трехмерной моделью атмосферы ПЛАВ. Одним из достоинств локализации является возможность эффективного распараллеливания алгоритма усвоения по данным, т.к. анализ можно вычислять параллельно в разных точках сетки. В представленной реализации (на основе MPI) данные (узлы регулярной широтно-долготной сетки) могут распределяться между вычислительными процессами равномерно по широте, либо по косинусу широты.

Представлены результаты работы системы усвоения, показывающие ее устойчивую работу на протяжении нескольких месяцев реального времени. Приведены результаты параллельного ускорения и эффективности.

Все эксперименты проводились на установленных в ГВЦ Росгидромета вычислительных системах SGI Altix 4700 (архитектура Intel ia64, набор инструментов MPT) и РСК "Торнадо" на процессорах Xeon E5 2690 (архитектура Intel 64, Intel MPI). Работа выполнена при частичной поддержке Программы 18 Президиума РАН и гранта РФФИ 10-05-01066.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Толстых М.А. Глобальная полулагранжева модель численного прогноза погоды. М.-Обнинск, ОАО ФОП, 2010 г. 111 стр. (ISBN 978-5-904240-11-0)
2. Толстых М.А., Мизяк В.Г. Параллельная версия полулагранжевой модели ПЛАВ с горизонтальным разрешением порядка 20 км //Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2011. № 346. С. 181-190 (<http://method.hydromet.ru>, раздел Публикации)
3. Evensen, G. Sequential data assimilation with a nonlinear quasigeostrophic model using Monte-Carlo methods to forecast error statistic. J. Geophys. Res., 1994, v.99, pp. 10143-10162.
4. Hunt, B.R., Kostelich, E.J. and Szunyogh, I. Efficient data assimilation for spatiotemporal chaos: a Local Ensemble Transform Kalman Filter. Physica D, 2007, v.230, pp. 112-126.