

УДК 528.9

АВТОМАТИЗАЦІЯ УДАЛЕННИХ РАХУНКІВ МЕТЕОРОЛОГІЧЕСКОЇ МОДЕЛІ WRF В ПАРАЛЛЕЛЬНОМУ РЕЖИМІ

А.А. Полонський, І.В. Ковалець, С.Н. Анулич

Інститут проблем математических машин и систем НАН України

e-mail: apl@ucewp.kiev.ua

Введение

В Украине в последнее время разработаны и внедрены специализированные системы прогнозирования метеорологических условий с высоким пространственным разрешением для прогнозирования паводков [1], обеспечения систем ядерного аварийного реагирования данными численного прогноза погоды [2,3] и других. На практике, например, при моделировании последствий аварий в произвольном месте планеты, возникает необходимость произвести разовый, а не постоянно обновляемый прогноз по конкретной территории. В работе [4] система WRF-Украина была доработана для решения такой задачи в автоматическом режиме. При этом модель WRF должна быть предустановлена (скомпилирована и настроена) на кластере. Соответственно, возможности одновременного производства нескольких прогнозов по различным территориям этой системы ограничено ресурсами кластера, на котором установлена WRF. Как правило, в распоряжении группы, выполняющей расчеты, имеются или могут быть легко получены вычислительные узлы в составе облачной и/или GRID-инфраструктуры. Подобные узлы представляют собой компьютеры под управлением ОС Linux с быстрыми многоядерными процессорами. Однако на этих компьютерах не установлена ни WRF, ни библиотеки, необходимые для ее работы, ни компилятор. Возможность быстро запускать WRF на любом компьютере под управлением ОС Linux заметно облегчила бы разовые метеорологические и/или климатологические расчеты и позволила бы автоматизировать прогностические метеорологические расчеты в облачной инфраструктуре. Поэтому целью настоящей работы является разработка и тестирование программной технологии удаленных расчетов WRF для дальнейшего использования в облачной инфраструктуре.

Программная технология удаленного расчета WRF

Модель WRF представляет собой программу на языке Fortran, которая компилируется компилятором Intel Fortran для ОС Linux с использованием библиотек OpenMPI и NetCDF. Для работы программы нужны разделяемые библиотеки libopenmpi и libnetcdf, а также служебные библиотеки Intel Fortran и библиотеки-зависимости. В процессе работы был выделен набор библиотек времени выполнения и исполняемых файлов, достаточный для запуска WRF на расчет и не зависящий от системы. Подобный набор можно переносить с одного компьютера под управлением Linux на другой в виде архива .tgz и запускать расчет через 10-15 минут после получения доступа к новому компьютеру.

Наличие такого архива и тестовых наборов входных данных для WRF позволило относительно быстро провести пробные расчеты на различных компьютерах и сравнить скорость расчета, а также ее зависимость от количества потоков и размера расчетной области в узлах сетки по широте и долготе.

Процедура удаленного запуска WRF состоит из следующих действий. Сначала файл-архив wrf-only.tgz, содержащий WRF и все библиотеки, необходимые для ее запуска, загружается на машину, где будет проводиться расчет (лучше всего в домашний каталог).

Затем файл set00.tgz, содержащий тестовый набор данных, загружается туда же. Далее выполняются команды bash:

```
mkdir wrf
cd wrf
tar xfvz ../wrf-only.tgz
cd run
tar xfvz ../../set00.tgz
cd ..
export LD_LIBRARY_PATH=`pwd`/lib
export PATH=$PATH:`pwd`/bin
ulimit -s unlimited
cd run
mpirun -np X ./wrf.exe , где X - количество потоков.
```

Чтобы запустить тест с другими данными, надо в папке run стереть файлы namelist.input, wrfbdy_d01, wrfinput_d01, wrfinput_d02, wrfinput_d03, содержащие настройки расчета WRF, начальные и граничные условия, и заменить их на другие данные, получаемые в результате расчета препроцессора WRF (WPS, [5]). Таким образом, в предлагаемой технологии первая часть цикла расчета, состоящая из загрузки данных глобальной модели прогноза погоды и расчета WPS, выполняется на стороне клиента, и лишь наиболее затратный расчет вычислительного ядра WRF производится на стороне удаленного сервера.

Тестирование быстродействия WRF в параллельном режиме

Расчеты были выполнены на следующих компьютерах:

1. Расчетный сервер с процессором Intel Core i7-3770K, тактовая частота 3,5Ghz, количество ядер - 4.
2. Сервер Dell PowerEdge R720 с процессором Intel Xeon E5-2600, тактовая частота 2Ghz, количество ядер - 16.
3. Один узел из расчетного кластера веб-сервера meteorprog.ua, процессор Intel Xeon E5405, тактовая частота 2Ghz, количество ядер - 8.
4. Рабочая станция с процессором Intel Core i5-4690K, тактовая частота 3,5Ghz, количество ядер - 4.
5. Сервер Entry с процессором Intel Xeon E5-2630, тактовая частота 2,6Ghz, количество ядер - 12.
6. Виртуальные машины из тестового облака Института теоретической физики с процессорами Intel, неизвестной модели и частоты, и количеством ядер - 2 и 4.
7. Инстанс Amazon EC2 c4.8xlarge, с процессором компании Intel, тактовой частотой 2,9Ghz и количеством ядер - 18.

В расчетах использовались следующие наборы данных для WRF:

1. Набор данных номер 1 (условное обозначение set00)- для расчета прогноза погоды по одной из АЭС Украины, горизонтальный размер сетки 45x45 узлов, пространственное разрешение 5 км. Длительность прогноза – 4 суток. В архиве занимает 34 Мб.
2. Набор данных номер 2 (условное обозначение set01) - для расчета прогноза погоды по Европе, горизонтальный размер сетки 200x215 узлов, пространственное разрешение 27 км. Длительность прогноза – 2 суток. В архиве занимает 108 Мб.

3. Набор данных номер 3 (условное обозначение set02) - для расчета прогноза паводков в Закарпатье, горизонтальный размер сетки 75x76 узлов, пространственное разрешение 3 км. Длительность прогноза – 7 суток. В архиве занимает 105 Мб.

Во всех тестовых наборах количество вертикальный уровней было одинаковым (29).

Результаты расчетов представлены на рис. 1 и 2.

Набор 1 (прогноз для АЭС)				Набор 2 (прогноз по Европе)			
isem (i7-3770K, 3.5Ghz, 4 cores)	meteorog cluster (E5405, 2Ghz, 8 cores)	meteorog cluster (E5405, 2Ghz, 8 cores)	isem (i7-3770K, 3.5Ghz, 4 cores)	isem (i7-3770K, 3.5Ghz, 4 cores)	meteorog cluster (E5405, 2Ghz, 8 cores)	isem (i7-3770K, 3.5Ghz, 4 cores)	isem (i7-3770K, 3.5Ghz, 4 cores)
число потоков	число потоков	число потоков	число потоков	число потоков	число потоков	число потоков	число потоков
2	4	4	2	2	4	4	2
время (HH:MM:SS)	время (HH:MM:SS)	время (HH:MM:SS)	время (HH:MM:SS)	время (HH:MM:SS)	время (HH:MM:SS)	время (HH:MM:SS)	время (HH:MM:SS)
00:29:23	00:46:04	00:42:55	00:28:44	00:23:59	00:37:09	00:30:58	00:19:49
4	6	6	4	6	8	6	4
00:29:24	00:37:13	00:30:58	00:20:21	00:29:24	00:30:58	00:30:58	00:20:21
6	8	8	6	8	8	8	6
00:29:35	00:22:49	00:18:10	00:18:38	00:29:35	00:22:49	00:22:49	00:18:38
8	4	4	8	4	4	4	8
PowerEdge R720, 2Ghz, 16 cores	core i5-4690K, 3.5Ghz, 4 cores	core i5-4690K, 3.5Ghz, 4 cores	PowerEdge R720, 2Ghz, 16 cores	PowerEdge R720, 2Ghz, 16 cores	core i5-4690K, 3.5Ghz, 4 cores	PowerEdge R720, 2Ghz, 16 cores	PowerEdge R720, 2Ghz, 16 cores
число потоков	число потоков	число потоков	число потоков	число потоков	число потоков	число потоков	число потоков
4	4	4	4	4	4	4	4
время (HH:MM:SS)	время (HH:MM:SS)	время (HH:MM:SS)	время (HH:MM:SS)	время (HH:MM:SS)	время (HH:MM:SS)	время (HH:MM:SS)	время (HH:MM:SS)
00:26:30	00:22:30	00:20:18	00:20:02	00:26:30	00:22:30	00:20:18	00:20:02
6	8	8	6	8	8	8	6
00:22:30	bitcloud vm, 2 cores	entry xeon E5-2630 (2.6Ghz, 12 cores)	00:14:19	00:22:30	bitcloud vm, 2 cores	entry xeon E5-2630 (2.6Ghz, 12 cores)	00:14:19
8	число потоков	число потоков	00:11:52	8	число потоков	число потоков	00:11:52
10	1	4	00:11:32	10	1	4	00:11:32
00:19:26	время (HH:MM:SS)	время (HH:MM:SS)	00:08:47	00:19:26	время (HH:MM:SS)	время (HH:MM:SS)	00:08:47
12	2	6	00:07:56	12	2	6	00:07:56
00:18:53	01:28:50	00:10:21	00:07:39	00:18:53	01:28:50	00:10:21	00:07:39
16	8	8	EC2 c4 8xl 2.9Ghz, 18 cores	16	8	8	EC2 c4 8xl 2.9Ghz, 18 cores
число потоков	число потоков	число потоков	число потоков	число потоков	число потоков	число потоков	число потоков
4	4	4	4	4	4	4	4
время (HH:MM:SS)	время (HH:MM:SS)	время (HH:MM:SS)	время (HH:MM:SS)	время (HH:MM:SS)	время (HH:MM:SS)	время (HH:MM:SS)	время (HH:MM:SS)
00:19:19	00:15:15	00:14:48	00:14:48	00:19:19	00:15:15	00:14:48	00:14:48
6	8	8	00:10:25	6	8	8	00:10:25
00:14:18	isem (i7-3770K, 3.5Ghz, 4 cores)	bitcloud vm, 4 cores	00:08:03	00:14:18	isem (i7-3770K, 3.5Ghz, 4 cores)	bitcloud vm, 4 cores	00:08:03
10	число потоков	число потоков	00:08:05	10	число потоков	число потоков	00:08:05
00:17:50	2	2	00:08:03	00:17:50	2	2	00:08:03
12	4	4	00:05:27	12	4	4	00:05:27
00:14:04	время (HH:MM:SS)	время (HH:MM:SS)	00:05:15	00:14:04	время (HH:MM:SS)	время (HH:MM:SS)	00:05:15
16	6	6	00:05:15	16	6	6	00:05:15
00:12:38	04:05:15	07:22:59	00:05:15	00:12:38	04:05:15	07:22:59	00:05:15
18	8	8	00:04:53	18	8	8	00:04:53
00:13:05	02:59:47	00:05:59	00:05:59	00:13:05	02:59:47	00:05:59	00:05:59
20	8	8	00:05:59	20	8	8	00:05:59
00:17:13				00:17:13			

Рис. 1. Результаты тестирования удаленных расчетов WRF

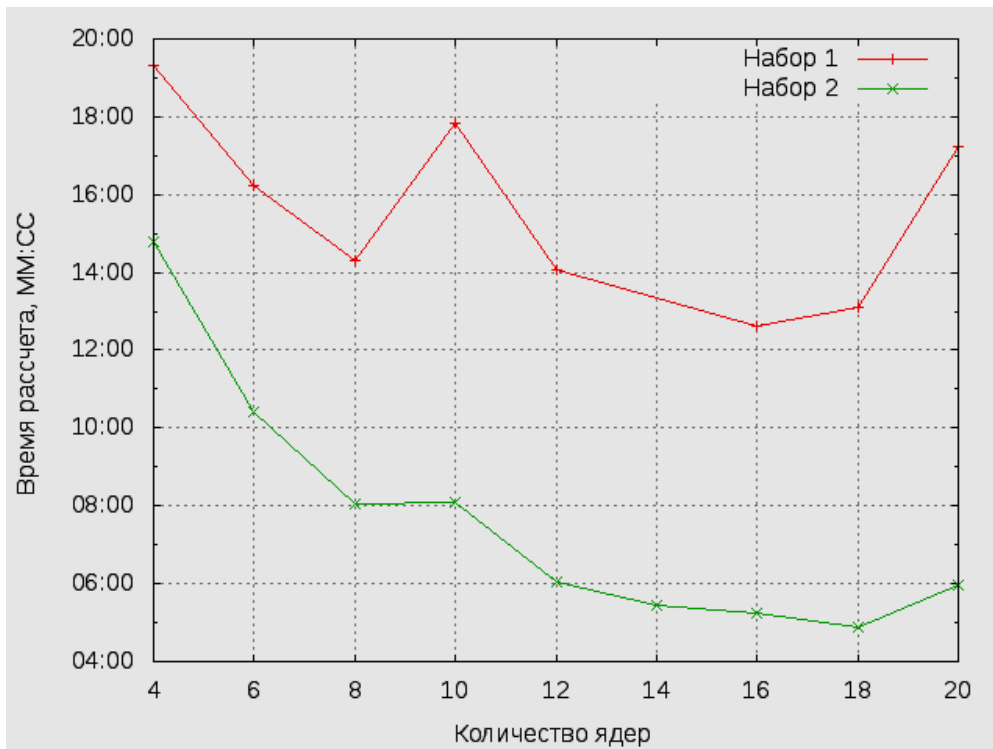


Рис. 2. Зависимость времени расчета от количества ядер для наборов 1 и 2

Из представленных результатов видно, что чем больше размер области в узлах сетки по широте и долготе, тем сильнее эффект распараллеливания (чем больше ядер процессора задействовано в расчетах, тем меньше общее время расчета и тем больше коэффициент распараллеливания). Теория, изложенная в статье [6], согласно которой максимальная эффективность распараллеливания возрастает с количеством узлов сетки, в целом подтверждается полученными результатами. Примеры зависимости времени расчета от количества ядер представлены на графике.

Также из представленных результатов видно, что инстансы Amazon EC2 позволяют выполнять расчет прогноза погоды максимально быстро (по сравнению с другими

использованными ресурсами). Отметим также, что стоимость ресурса сравнительно невелика, т.к. один час работы такого инстанса стоит \$1.77, а при наличии архива с WRF, не требующего долгой инсталляции, запустить расчет можно в течение 10-15 минут, и кроме того, процесс можно даже автоматизировать.

Выводы

В работе разработана программная технология удаленных расчетов метеорологической модели WRF в облачной инфраструктуре, на серверах которой отсутствует предустановленный WRF, а также библиотеки, необходимые для производства расчетов в параллельном режиме (openmpi). С использованием разработанных программных средств проведено тестирование параллельного режима расчета WRF на нескольких вычислительных серверах различных типов. Максимальная эффективность достигнута с использованием ресурса Amazon EC2 c4.8xlarge, с процессором компании Intel, тактовой частотой 2,9Ghz и количеством ядер - 18. В дальнейшей работе планируется использовать разработанную программную технологию для создания веб-системы расчета метеорологического прогноза в облачной инфраструктуре.

Литература

1. Ковалець І.В., Халченков О.В., Ануліч С.М. та Удовенко О.І. (2015) Оперативне прогнозування метеорологічних полів для систем попередження про паводки у Карпатах // Математичні машини та системи. – 2015. - №3. – С. 118-125
2. Ануліч С.М., Євдін Є.О., Ковалець І.В., Халченков О.В., Соловей Д.Ю., Железняк М.Й. (2016) Впровадження системи ядерного аварійного реагування JRODOS в Україні та її забезпечення даними оперативного метеорологічного прогнозування // Зб. Пр. 11-ї міжнар. наук.-практ. Конф. «Математичне та імітаційне моделювання систем МОДС 2016», (Жукін, 27 червня -1 липня 2016 р.). – Чернігів:ЧНТУ, 2016. – С.93-96
3. Халченков А.В., Ковалец И.В., Романенко А. М. (2015) Верификация системы прогнозирования метеорологических полей вокруг Ровенской АЭС на основе использования модели WRF // Математичні машини та системи. – 2015. - №1. – С. 130-138.
4. Andronopoulos S., Ievdin I., Kovalets I., Anulich S., and Trybushnyi D. (2016) New functionalities developed in the NERIS-TP project regarding meteorological data used by Decision Support Systems // Radioprotection, Vol.51, No. HS1, pp. S13-S16
5. Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J. [et al], 2008. A description of the advanced research WRF version 3. [Електронний ресурс] // NCAR Technical Note NCAR/TN-475+STR. – USA, Boulder: National Center for Atmospheric Research, 2008. – 125 p. – Режим доступу: <http://wrf-model.org/>
6. Ковалец И.В., Гузий А.М. (2011) Использование параллельных вычислений в метеорологической модели WRF // Математические машины и системы. – 2011. – №1. – С.90-95