

О быстродействии расчетов модели WRF-ARW на кластере CRAY

С. О. Романский¹, Е. М. Вербицкая

ФГБУ «Дальневосточный региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт», Владивосток

Стендовый доклад на V Всероссийской научно-практической конференции «Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России»

(23 – 25 ноября 2022 г., г. Иркутск)

Аннотация

В работе представлено сравнение быстродействия расчетов модели WRF-ARW [3,5,6], выполненных на сетках из 540 × 540 узлов, с горизонтальными шагами 1, 3 и 5 км и 51 уровнем по вертикали для различного числа вычислительных узлов кластера CRAY XC-40.

Цель работы

Анализ быстродействия вычислительного процесса численного интегрирования модели WRF-ARW при различных конфигурациях сеточной области высокого пространственного разрешения (варьируются шаг сетки по горизонтали и шаг по времени) на высокопроизводительном вычислительном кластере CRAY XC-40.

Параметры вычислительного кластера

Кластер CRAY XC-40 пиковой производительностью 76 ТФлопс построен на основе 18-ядерных процессоров Intel Broadwell с тактовой частотой 2,3 ГГц. Один вычислительный узел кластера включает два процессора. Необходимо отметить, что на этом вычислителе развернута оперативная система численных прогнозов погоды для Восточной Сибири и Дальнего Востока России [1,4], поэтому для тестирования было задействовано не максимальное возможное количество вычислительных узлов кластера.

Описание

вычислительного эксперимента

Оценка быстродействия процесса численного интегрирования выполнялась по версии модели WRF-ARW 3.9 и проводилась для следующих конфигураций области расчета: по вертикали от уровня земли и до изобарической поверхности 50 гПа была задана неравномерная сетка, состоящая из 51 уровня, с наиболее подробным разрешением в нижнем двухкилометровом слое; уровни по вертикали задавались с использованием вертикальной координаты η ; горизонтальная область расчета представляет собой квадрат со стороной, включающей $n = 540$ сеточных узлов. Тестировались конфигурации модели с шагами по горизонтали: 1, 3 и 5 км, которым соответствовали следующие шаги по времени: 6, 18 и 30 с.

Вычисления проводились на 24 ч. вперед в конфигурации со стандартным набором параметризаций. Граничные данные обновлялись каждые 6 ч. Постпроцессинг для модели WRF-ARW не использовался. Запуск модели выполнялся через очередь задач, все задания запускались со стандартным приоритетом.

Оценки быстродействия

– коэффициент ускорения:

$$S_p = T_1 \cdot T_p^{-1}$$

отношение времени счета модели на одном (T_1) и на нескольких вычислительных узлах (T_p);

– эффективность [2]:

$$E_p = S_p \cdot p^{-1}$$

отношение коэффициента ускорения к числу задействованных вычислительных узлов (p);

– стоимость расчета:

$$C_p = p \cdot T_p$$

суммарное машинное время работы задействованных вычислительных узлов;

– накладные расходы [2]:

$$T_o = p \cdot T_p - T_1.$$

Обсуждение и выводы

По данным табл. 1 время расчета программы «wrf.exe» уменьшается с ростом числа вычислительных узлов для всех вариантов эксперимента. Значения коэффициента ускорения близки к числу задействованных вычислительных узлов, и для всех задач фиксированной размерности сохраняется возрастание коэффициента ускорения с ростом p , что указывает на сильную масштабируемость параллельного алгоритма, реализованного в модели WRF-ARW.

Для всех проведенных вариантов эксперимента значения эффективности не опускались ниже 0,90, что является хорошим результатом и предполагает, что ускорение будет достигать высоких значений и для расчетов модели на рассматриваемых сетках при количестве вычислительных узлов более 25. Наилучшую эффективность при использовании более 10 вычислительных узлов, очевидно, показывает конфигурация модели с наибольшим объемом вычислений, т.е. расчеты на сетке с шагом 1 км: эффективность достигает порядка 0,98–0,99.

Результаты

Таблица 1

Оценки быстродействия программы «wrf.exe» при расчете в параллельном режиме для различного количества вычислительных узлов кластера CRAY XC-40

Шаг, км	Вычислительные узлы, p	Время счета, T_p , минуты	Коэффициент ускорения, S_p	Эффективность, E_p	Стоимость расчета, C_p , минуты	Накладные расходы, T_o , минуты
1	1	858	1	1	858	0
	3	287	2,99	1,00	861	3
	5	172	4,99	1,00	860	2
	8	108	7,94	0,99	864	6
	10	86	9,98	1,00	860	2
	12	72	11,92	0,99	864	6
	15	58	14,79	0,99	870	12
	20	43	19,95	1,00	860	2
3	1	519	1	1	519	0
	3	178	2,92	0,97	534	15
	5	107	4,85	0,97	535	16
	8	67	7,75	0,97	536	17
	10	54	9,61	0,96	540	21
	12	45	11,53	0,96	540	21
	15	36	14,42	0,96	540	21
	20	27	19,22	0,96	540	21
5	1	407	1	1	407	0
	3	136	2,99	1,00	408	1
	5	82	4,96	0,99	410	3
	8	52	7,83	0,98	416	9
	10	43	9,47	0,95	430	23
	12	36	11,31	0,94	432	25
	15	29	14,03	0,94	435	28
	20	22	18,50	0,93	440	33
25	1	18	22,61	0,90	450	43

Приблизительную оценку времени расчета модели WRF-ARW на некоторой сетке, состоящей из $d \times b$ узлов, при известном времени счета T_p на сетке из $n \times n$ узлов с теми же шагами по времени и пространству можно получить по формуле

$$T'_p \approx d \cdot b \cdot n^{-2} \cdot T_p.$$

Такая оценка, при переходе к новой конфигурации, не учитывает изменение времени, затрачиваемого на накладные расходы. Например, для сетки из 1080 × 1080 узлов с шагом по горизонтали 1 км при расчете на 24 ч. вперед на 25 вычислительных узлах получено время счета 145 минут при теоретической оценке $T'_{25} \approx 140$ минут (по данным табл. 1).

Литература

1. Вербицкая Е.М. Система численного прогноза погоды специализированного метеорологического центра в Хабаровске, перспективы развития и совершенствования / Труды ДВНИГМИ. – Дальнаука, 2021. – Вып. 156. – С. 57–72.
2. Grama A. Y., Gupta A., Kumar V. Isoefficiency: measuring the scalability of parallel algorithms and architectures / IEEE parallel & distributed technology. – № 3. – 1993. – P. 12–21.
3. Power J. G., Klemp J. B., Skamarock W. C. The weather research and forecasting model: overview, system efforts, and future directions / Bull. Amer. Meteorol. Soc. – 2017. – Vol. 98. – P. 1717–1737.
4. Romanskij S., Verbitskaya E. New operational short-range numerical weather prediction system of Khabarovsk regional specialized meteorological center / Proc. of the V international conference on information technologies and high-performance computing (ITHPC-2019), Khabarovsk, Russia, September 16-19, 2019. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2426/paper11.pdf> (дата обращения 10.10.2022).
5. Skamarock W. C., Klemp J. B., Dudhia J., Gill D. O., Barker D., Duda M. G., et al. A description of the Advanced research WRF version 3 (NCAR/TN-475+STR). – NCAR, 2008. – 125 p.
6. WRF-ARW User's Guide v. 3.9. URL: http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3/user_guide_V3.9/contents.html (дата обращения 07.10.2022).

¹E-mail: khvstas@gmail.com