

## Тесты для определения производительности суперкомпьютеров

*Александрова И. Л., ст. преподаватель кафедры прикладной математики*

Для определения производительности суперкомпьютеров не достаточно взять производительность процессора и умножить ее на их количество, необходимо также учитывать время обмена данными между процессорами на одном узле и время обмена данными между вычислительными узлами. Существуют специальные тесты для измерения производительности суперкомпьютеров, однако большинство тестов направлено на решение определенного типа задач.

Пожалуй, многие, кто хоть немного интересуется суперкомпьютерами, слышали о тесте **High-Performance Linpack (HPL)** [1], на основе которого два раза в год составляется рейтинг самых мощных компьютеров мира – список Top500 [2]. Впервые рейтинг был сформирован в 1993 году. В него попадают те системы, которые показали наибольшую производительность на тесте HPL. Производительность системы определяется как количество операций с плавающей запятой в секунду и обозначается Flop/s. На сегодняшний день производительность компьютеров из списка Top500 превышает 1 PFlop/s ( $10^{15}$  Flop/s), в то время как пиковая производительность компьютера с процессором Intel Core i7 9-го поколения примерно 460 GFlop/s ( $10^9$  Flop/s).

Автором теста Linpack является Jack Dongarra. В данном тесте решаются системы линейных уравнений (СЛАУ) с плотной матрицей размера  $N \times N$ . Для Top500 СЛАУ решается методом LU-разложения с выбором ведущего элемента столбца, количество операций с плавающей запятой двойной точности составляет  $2/3N^3 + O(N^2)$ . Используется блочно-циклическое распределение данных между вычислительными узлами: исходная матрица разделяется на логические блоки определенной размерности, каждый такой блок в свою очередь разбивается на более мелкие блоки. Каждый мелкий блок достается отдельному процессору системы. Для обмена данными между процессорами используется интерфейс MPI, последовательные вычисления на каждом процессоре проводятся с помощью функций библиотеки BLAS. Тест оценивает вычислительные мощности систем.

Рассмотрим некоторые другие популярные тесты измерения производительности суперкомпьютеров.

**Тест High Performance Conjugate Gradient (HPCG).** Это относительно молодой тест (появился в 2013 г.), на основе которого строится свой рейтинг самых мощных компьютеров. Разработчиками теста HPCG [3] являются разработчики теста HPL. Они говорят [4], что HPL потерял свою актуальность и не способен реально оценить мощность суперкомпьютера для современных задач, в основе решения которых лежат решения дифференциальных уравнений. В таких задачах нагружается подсистема памяти и идет активное межузловое взаимодействие. В тесте Linpack же заложена хорошая вычислительная нагрузка, и никак не учитываются большие массивы данных. Создатели теста HPCG отмечают, что разрыв в производительности на тесте HPL и на реальных приложениях будет только увеличиваться, и предполагают, что суперкомпьютер с производительностью 1EFlop/s на тесте HPL будет не столь удачным для реальных задач.

В основе теста HPCG лежит решение СЛАУ с разреженной квадратной матрицей большой размерности методом сопряженных градиентов с предобуславливателем Гаусса-Зейделя. Реализация алгоритмов выполнена на C++ с использованием технологий MPI и OpenMP.

Отметим, производительность суперкомпьютера Summit (№1 в списке Top500 от 18 ноября 2019г.) на тесте Linpack составляет 148,6 PFlop/s, а на тесте HPCG – 2,93 PFlop/s.

**Тест NAS Parallel Benchmark (NPB).** Комплекс NPB [5] состоит из нескольких простых тестов-ядер и трех тестов, основанных на задачах гидро- и аэродинамики. К ядрам относится пять задач: вычисление интеграла методом Монте-Карло; приближенное решение трехмерного уравнения Пуассона; вычисление наименьшего собственного значения разреженных матриц методом сопряженных градиентов; решение трехмерного уравнения в частных производных методом быстрого преобразования Фурье; параллельная сортировка целых чисел. Тесты направлены как на определение вычислительных возможностей компьютера при работе с вещественными числами, так и на определение скорости передачи данных между разными узлами. В качестве среды передачи сообщений в тесте используется интерфейс MPI.

**Тест Graph 500.** Первая версия теста Graph 500 [6] была разработана в 2010 году под руководством Ричарда Мерфи как альтернатива тесту HPL.

Данный тест отражает производительность компьютера при работе с большими объемами пересылаемых между узлами данных.

В тесте осуществляется параллельный поиск в ширину на графе на основе списка вершин. Граф для теста задается списком ребер и генерируется случайным образом. В тесте можно задать один из шести размеров графа:  $2^{26}$  вершин (17Gb),  $2^{29}$  вершин (140Gb),  $2^{32}$  вершин (1Tb),  $2^{36}$  вершин (17Tb),  $2^{39}$  вершин (140Tb),  $2^{42}$  вершин (1.1Pb). Производительность суперкомпьютера определяется как число пройденных ребер графа в секунду – TEPS (Traversed Edge Per Second). Реализация параллельных алгоритмов выполнена на языках C с использованием технологии OpenMP, для обмена сообщениями между узлами использована технология MPI.

На основе теста Graph 500 строится свой рейтинг суперкомпьютерных систем. Список, как и Top500, обновляется два раза в год. Кроме того, существует рейтинг Green Graph 500, в котором системы ранжированы по производительности на 1 ватт потребляемой электроэнергии. Для участия в рейтинге Green Graph 500 рассматриваются только те системы, производительность которых на тесте Graph 500 не ниже производительности самой последней системы из списка Graph 500.

**Заключение.** Как правило, тестирование кластеров и суперкомпьютеров проводят с помощью нескольких разных тестов. Использование нескольких тестов в совокупности позволяет наиболее полно оценить вычислительные мощности компьютера и его коммуникационные возможности.

Источники:

- [1] Пакет High-Performance Linpack <http://www.netlib.org/benchmark/hpl/>
- [2] Список Top500 <https://www.top500.org/>
- [3] High Performance Conjugate Gradient Benchmark <http://www.hpcg-benchmark.org/>
- [4] J. Dongarra, M. A. Heroux "Toward a New Metric for Ranking High Performance Computing Systems," Sandia National Laboratories Technical Report, SAND2013-4744, June, 2013.  
<https://www.sandia.gov/~maherou/docs/HPCG-Benchmark.pdf>
- [5] NAS Parallel Benchmarks <https://www.nas.nasa.gov/publications/npb.html>
- [6] Graph 500 benchmark specification <https://graph500.org/>