

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ГРАФА ТЕСТА HPCG

А.В. Киселев¹, Е.А. Киселев², В.В. Корнеев¹

¹ ФГУП «НИИ «Квант»

² Межведомственный суперкомпьютерный центр Российской академии наук (МСЦ РАН)

Программные тесты, применяемые для оценки производительности вычислительных систем (ВС), моделируют типичный набор решаемых прикладных задач и, очевидно, что с изменением набора задач применяемые тесты также должны меняться.

На протяжении нескольких десятилетий основным инструментом для измерения производительности суперкомпьютеров является тест HPL [1], моделирующий решение случайным образом сгенерированной системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) вида $Ax = b$ методом LU -разложения с выбором ведущего столбца, где A – плотно заполненная матрица заданной размерности N . Под LU -разложением понимается представление квадратной матрицы в виде произведения нижнетреугольной матрицы (L) с единицами на главной диагонали и верхнетреугольной матрицы (U).

Производительность вычислительной системы на тесте HPL оценивается путем подсчета количества вычислительных операций, выполненных при решении сгенерированной системы линейных уравнений, и практически не зависит от длительности и интенсивности обмена данными между вычислительными узлами ВС.

Для объективной оценки производительности современных вычислительных систем тест HPL дополняется новым тестом HPCG [2], моделирующим решение системы дифференциальных уравнений в частных производных с разреженной матрицей коэффициентов большой размерности. Подобные вычисления характерны для современных задач ядерной физики, энергетики, климатологии, материаловедения и др.

В программной реализации теста применяется метод сопряженных градиентов с предобуславливанием [3,4] для решения СЛАУ вида $Ax = b$, где A – симметричная положительно определенная матрица, а b – вектор-столбец. На каждой итерации выполняется решение СЛАУ с одинаковыми входными данными. Размерность СЛАУ задается параметрически. Если после выполнения заданного пользователем количества итераций точность решения является приемлемой, то результат тестирования считается достоверным [2].

В отличие от HPL тест HPCG учитывает не только возможности вычислений с плавающей точкой, но и коммуникативные возможности, обеспечивающие эти вычисления [4]. Для коммуникационной среды современных высокопроизводительных вычислительных систем характерна неоднородность компонентов и иерархическая структура, оказывающие существенное влияние на время выполнения параллельных программ с интенсивным внутренним информационным обменом. Поэтому применение теста HPCG для оценки производительности суперкомпьютера должно осуществляться с учетом характеристик коммуникационной среды и структуры информационных обменов между MPI-процессами теста.

Структура информационных обменов между MPI-процессами может быть описана так называемым «информационным графом параллельной программы». Вершины графа моделируют MPI-процессы, а ребра – информационные обмены между ними. Каждому ребру информационного графа назначается вес, равный усредненному объему данных, переданных между соответствующими MPI-процессами за время выполнения программы.

Являясь продолжением и развитием работ [5, 6], проведенное исследование позволяет оценить возможность улучшения результата тестирования за счет реорганизации структуры коммуникационной среды многопроцессорной вычислительной системы (МВС) и оптимизации размещения MPI-процессов теста HPCG на вычислительных узлах МВС.

Построение информационного графа выполнялось в соответствии с методикой и с помощью программных средств, описанных в [6], на основе данных трассировки теста HPCG, рассматриваемого как «черный ящик».

Анализ информационного графа теста HPCG, полученного при различном числе вычислительных узлов показал, что в тесте преимущественно используются коммуникационные шаблоны 3 типов.

Коммуникационный шаблон 1 типа (рис. 1) используется при передаче 90,1% данных.

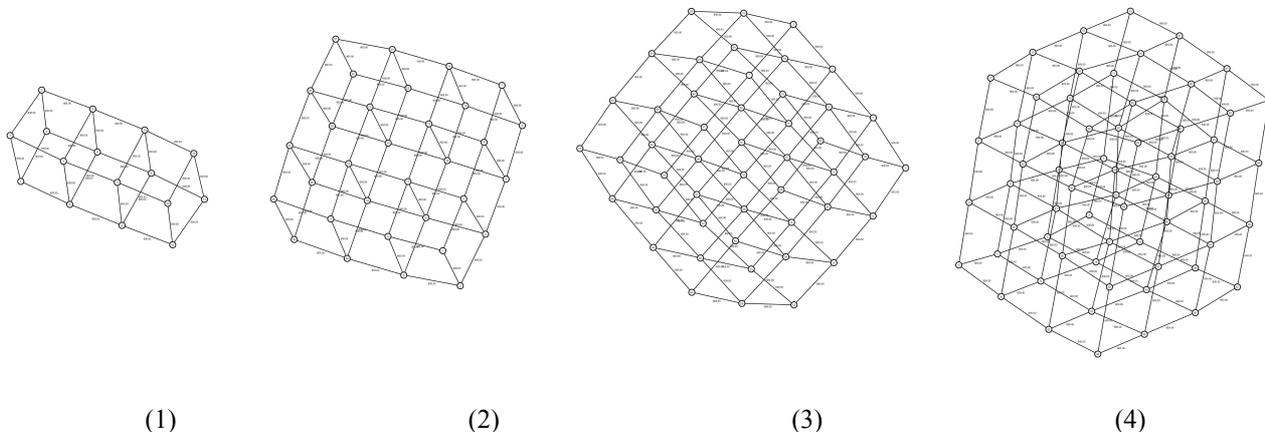


Рис. 1. Коммуникационный шаблон 1 типа теста HPCG при 16 (1), 32 (3), 48 (4) и 64 (5) вычислительных узлах

Коммуникационный шаблон 2 типа (рис.2) используется при передаче 9% данных. В данном шаблоне вершины графа делятся на два несвязных подграфа, что соответствует разбиению MPI-процессов теста HPCG на две группы и выполнению коммуникационных операции только в рамках одной группы процессов.

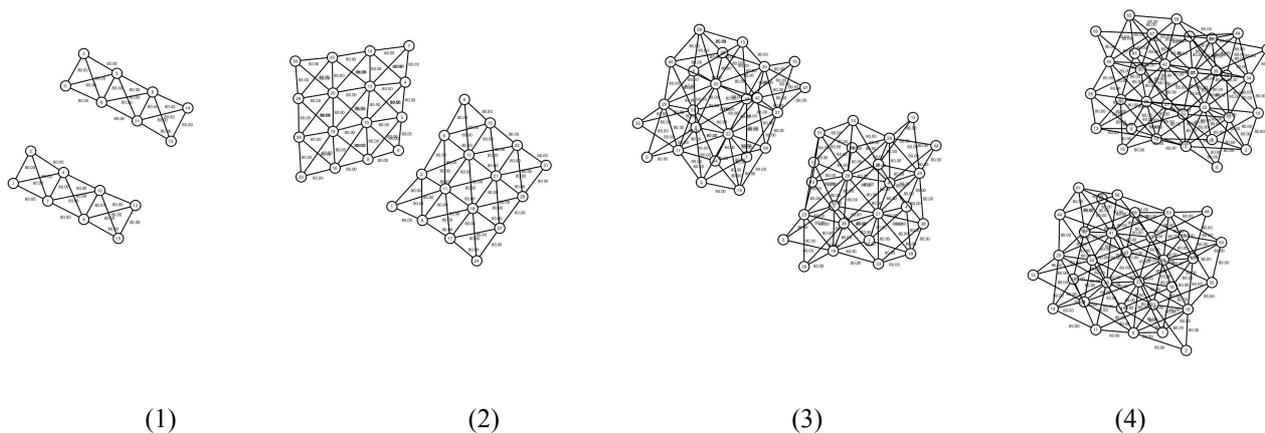
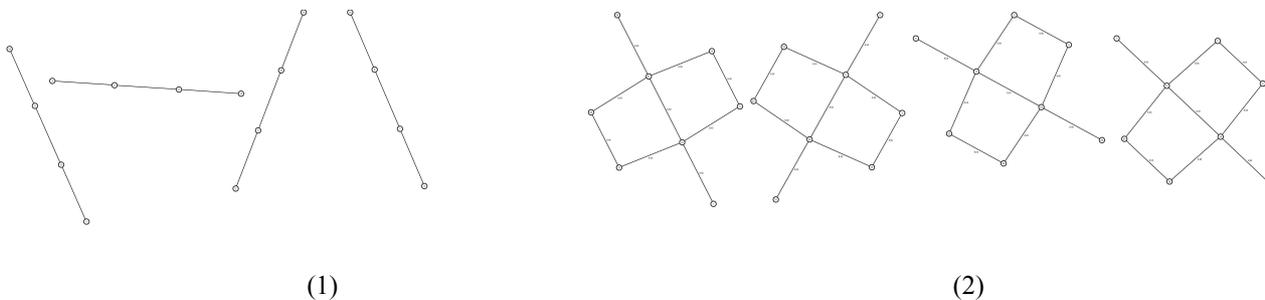
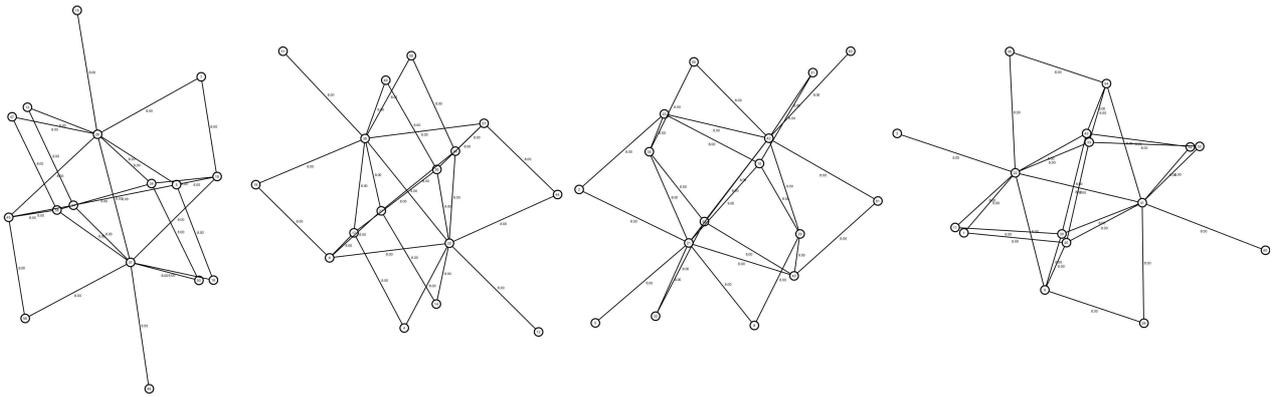


Рис. 2. Коммуникационный шаблон 2 типа теста HPCG при 16 (1), 32 (2), 48 (3) и 64 (4) вычислительных узлах

Коммуникационный шаблон 3 типа (рис. 3) используется при передаче 0,9% данных. Шаблон состоит из 4 несвязных подграфов, что соответствует разбиению процессов на четыре группы и обмена данными только внутри группы.





(3)

Рис. 3. Коммуникационный шаблон 3 типа теста HPCG при 16 (1), 32 (2) и 64 (3) вычислительных узлах

Коммуникационный шаблон 1 типа имеет четко выраженную топологию «3D-решетка» и используется в большинстве случаев передачи данных. Коммуникационные шаблоны 2 и 3 типов имеют нерегулярную структуру и используются при передаче небольшого объема данных (менее 10% от общего объема передаваемых данных).

Таким образом, при тестировании вычислительных систем с использованием теста HPCG преимущественное положение будут иметь вычислительные системы, коммуникационная среда которых обеспечивает эффективную поддержку коммуникационных операций со структурой информационного графа типа «3D-решетка».

Для получения лучших результатов на тесте HPCG для конкретной MVC можно воспользоваться изложенной в работе [5] методикой, обеспечивающей эффективное назначение параллельной программы на вычислительные узлы MVC с учетом информационного графа программы и топологических особенностей коммуникационной среды.

ЛИТЕРАТУРА:

1. J. Dongarra, A. Petitet, R. C. Whaley, A. Cleary. HPL – A Portable Implementation of the High-Performance Linpack Benchmark for Distributed-Memory Computers // <http://web.eecs.utk.edu/~luszczek/pubs/hplpaper.pdf>.
2. M. Heroux, J. Dongarra. Toward a New Metric for Ranking High Performance Computing Systems. Sandia Report. SAND2013-4744. Printed June 2013 // <http://www.sandia.gov/~maherou/docs/HPCG-Benchmark.pdf>.
3. R. Barrett, M. Berry, T. F. Chan, J. Demmel, J. M. Donato, J. Dongarra, V. Eijkhout, R. Pozo, C. Romine, H. Van der Vorst. Templates for the Solution of Linear Systems: Building Blocks for Iterative Methods // <http://www.netlib.org/templates/templates.pdf>.
4. Ю.Я. Болдырев. Зато ближе к реальным приложениям. Интервью с Джеком Донгаррой по поводу новых тестов HPCG (Джек Донгарра, Майкл Эру) // Суперкомпьютеры, 2013, 16, С. 8-12 // http://www.supercomputers.ru/images/stories/Supercomputers_16-2013.pdf.
5. Е.А. Киселёв, О.С. Аладышев. Алгоритм эффективного размещения программ на ресурсах многопроцессорных вычислительных систем. Программные продукты и системы. – Тверь, 2012 – Вып. 4. – С. 18-25.
6. Е.А. Киселёв. Построение информационного графа параллельной программы на основе данных профилирования и трассировки. Научный сервис в сети Интернет: экзафлопное будущее: Труды Международной суперкомпьютерной конференции (19-24 сентября 2011 г., г. Новороссийск): сб. науч. тр. – М.: Изд-во МГУ, 2011. – С. 541-546.