НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ И КЛАСТЕРНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

А.В. Малышев

Институт вычислительного моделирования СО РАН

1. О моделировании параллельных вычислений

С проблемой моделирования параллельных вычислений так или иначе сталкивается всякий, кто ставит и пытается решать вычислительные задачи на кластерной системе. Однако в большинстве случаев математик-вычислитель ограничивается эмпирической оценкой, выполняемой в соответствии с личным опытом и интуицией, полагая, что данный аспект постановки задачи не играет существенной роли и может быть пройден мимоходом или вообще пропущен. При решении пробных или небольших по размеру задач можно действовать наугад, но при планировании масштабного вычислительного эксперимента, время счета которого исчисляется днями и неделями, выбор способа разбиения, размера подзадач или способа организации собственно вычислений может существенно повлиять на время счета и, как следствие, на результаты эксперимента в целом.

Построение модели параллельных вычислений даст возможность:

- проводить качественный и количественный анализ хода процесса вычислений до начала вычислений;
- выполнять априорную и апостериорную оценки эффективности параллельных вычислений;
- делать обоснованный выбор алгоритма решения, способа и параметров разбиения этого алгоритма для достижения оптимальных значений ускорения и/или эффективности.

Требования к модели:

- **полнота**, то есть учет основных технических характеристик кластера: объема памяти, типа, тактовой частоты и размера кэша процессоров и плат вычислительных узлов, латентности и скорости сетевых обменов и дисковых операций;
- **конструктивность**, то есть возможность использовать модель для анализа вычислительного процесса и определения его качественных и

количественных характеристик (временная диаграмма, ускорение, эффективность, оптимальность);

- **адекватность**, то есть соответствие результатов, полученных при моделировании, ходу реального вычислительного процесса;
- **компаративность** – соотносимость результатов, даваемых моделью, с результатами наиболее распространенных тестов производительности, применяемых для кластерных систем.

2. Общие подходы к моделированию параллельных вычислений

В самом общем виде можно выделить два подхода к моделированию: это подходы «от инструмента» и «от задачи».

Подход «от инструмента» включает в себя анализ характеристик кластера как программно-аппаратной системы, выполняющей некоторый набор операций. К числу таких характеристик относятся:

● *быстродействие узла* кластера: количество арифметических операций (умножений и/или сложений) в секунду.

Этот параметр зависит не только от тактовой частоты процессора, но и от множества факторов, включая размеры кэша, оперативной памяти, размеров блоков данных и способов их организации. В качестве иллюстрации рассмотрим рис. 1, на котором показана зависимость быстродействия от размера данных решаемой узлом подзадачи, выявленная в ходе

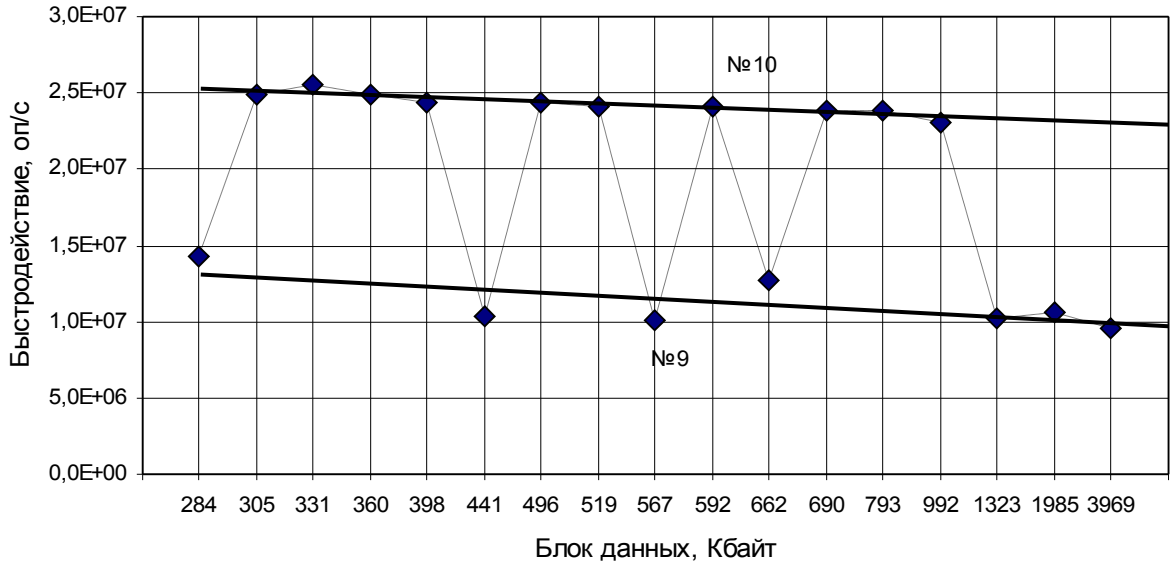

Рис. 1. Зависимость быстродействия узла от размера подзадачи

экспериментов.

Из рис. 1 видно, что, во-первых, существует резкий скачок производительности (она изменяется почти в два раза) при малом изменении размера данных. Так, точки №9 и 10 отделяют друг от друга 25 Кбайт и $1.4 \cdot 10^7$ оп/с. При этом на обоих уровнях точки выстраиваются в прямые, которые на рассмотренном участке практически параллельны. Объяснить этот скачок без дополнительных исследований трудно; можно сделать предположение, что он связан с попаданием либо непопаданием в кэш процессора соответствующих блоков данных.

Во-вторых, видно, что функция быстродействия монотонно (линейно) убывает при увеличении размера блока данных, независимо от уровня. Это лишний раз говорит как о «моделируемости» параметра, так и о пользе распараллеливания: превращение крупной задачи в набор мелких позволяет «бесплатно» получать увеличение быстродействия;

- *латентность* коммуникационной подсистемы и практическая *скорость* обмена (вещественных чисел в секунду).

Эти параметры зависят не только от типа и скорости используемого коммуникационного оборудования, но и от используемой коммуникационной библиотеки. Так, считается, что пакет LAM для протокола TCP/IP дает существенно меньшую латентность, чем пакет библиотек MPICH для того же сетевого протокола.

Подход «от задачи» состоит в рассмотрении вычислительного процесса с точки зрения его основной функции – решения вычислительной задачи, в известной степени абстрагируясь от программно-аппаратного обеспечения.

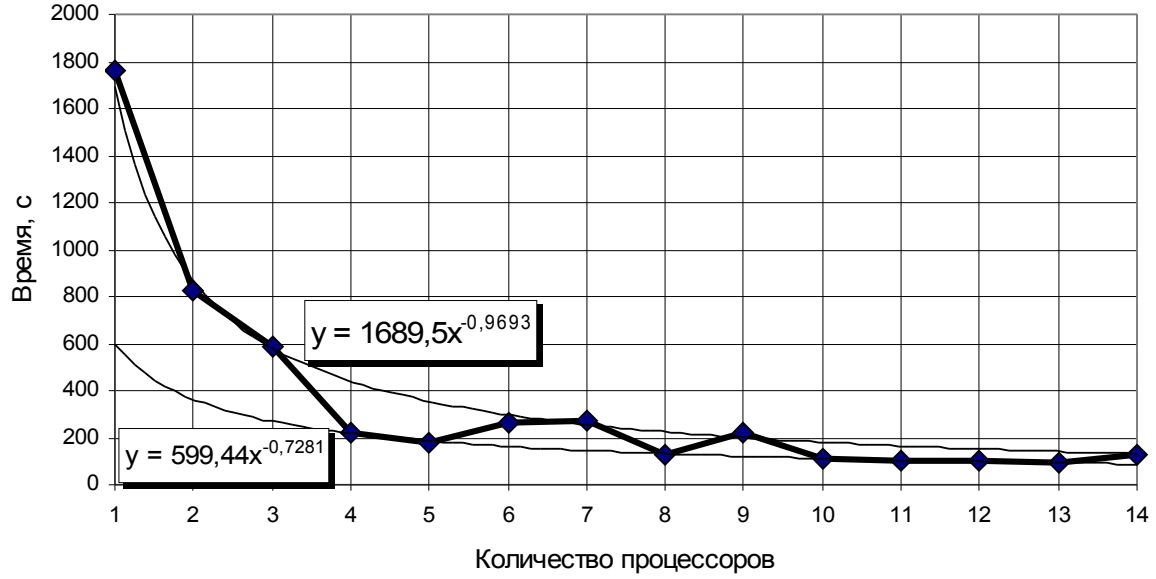

Рис. 2. Зависимость времени счета от количества процессоров

Здесь рассматриваются характеристики задачи или класса задач, связанные с внутренним параллелизмом известных алгоритмов их решения, возможностями конструирования новых параллельных алгоритмов и т.п.

На рис. 2 изображен график зависимости времени перемножения двух матриц размером 2016×2016 от количества задействованных процессоров. Жирной линией показана фактическая кривая, снятая по результатам вычислений. На первый взгляд ее вид не позволяет говорить об эффективном аналитическом моделировании; но, сопоставив с рис.1, нетрудно увидеть две кривые: одна составлена точками, которые соответствуют попаданию быстродействия на верхний уровень, другая – точками, где быстродействие оказалось на нижнем уровне. Эти кривые - по отдельности - очень хорошо приближаются степенными функциями; их уравнения показаны на графике. В данной задаче вклад межпроцессных обменов и связанных с ними нелинейностей оказался достаточно мал, поэтому время счета оказалось зависящим преимущественно от быстродействия. Важно отметить еще и тот факт, что, как показано в [1], дальнейшее увеличение количества задействованных процессоров в данной задаче должно привести к увеличению времени счета из-за роста межпроцессных обменов. В реальных задачах, отличающихся существенным межпроцессным трафиком, этот фактор может иметь очень большое значение.

Заключение

Адекватное конструктивное моделирование параллельных вычислительных систем и параллельных вычислений – актуальная и пока в целом неразрешенная проблема. Используемый в настоящее время эмпирический подход к планированию и постановке параллельного вычислительного эксперимента должен и, скорее всего, будет постепенно вытесняться использованием теоретически обоснованных и экспериментально проверенных моделей, тем более что принципиальных препятствий к построению таких моделей пока не обнаруживается. Основные параметры, используемые в подходе «от инструмента», во многих случаях хорошо приближаются аналитическими кривыми. Когда же это не так, можно пытаться построить зависимости специального вида либо использовать вероятностные методы оценки. Рассмотрение же «от задачи» может опираться на известные методы последовательной вычислительной математики, дополненные или переработанные в соответствии со спецификой параллельного вычисления.

Список литературы

1. *Малышев А.В., Шайдуров В.В.* Параллельные вычисления на кластерах из персональных ЭВМ //Вычислительные технологии. – 2001. – Т.6, ч.2. – Спец. выпуск. – С. 287-293.