

ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КЛАСТЕРОВ

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме развития системы суперкомпьютерного образования, рассматриваются вопросы и конструктивные решения построения многопроцессорных вычислительных кластеров, как первоначального этапа для реализации программы подготовки специалистов в области высокопроизводительных вычислений. Приводится пример построения кластера на конкретном оборудовании и результаты тестирования кластера на программе моделирования распределенной автоматизированной системы управления.

Ключевые слова: суперкомпьютерные технологии, вычислительные кластеры, высокопроизводительные вычисления, параллельное программирование, массовый параллелизм, программные средства, специализация по параллельным вычислениям, численный эксперимент, математическое моделирование.

Введение

В настоящее время вопросы развития суперкомпьютерных вычислительных мощностей и подготовки кадров для их широкого применения рассматриваются, как одни из самых приоритетных в нашей стране. Создание и развитие многопроцессорных вычислительных систем продиктовано потребностью решения сложных фундаментальных и прикладных задач с крупномасштабным объемом вычислений. Это задачи из самых разных областей, перечислим лишь некоторые из них: решение глобальных задач математического моделирования, обработки больших потоков данных в реальном времени, расчета динамических процессов в сложно устроенных средах и т.д.

Сегодня в мире уже созданы суперкомпьютеры с петафлопсной производительностью (квадриллион операций с плавающей точкой в секунду, 10^{15}) и к 2018 г. прогнозируется достижение экзафлопсного уровня производительности (10^{18} оп/сек). Однако, лишь единичные приложения могут использовать потенциал петафлопсных машин. Поэтому значимость практического использования суперкомпьютерных технологий ставит перед системой высшего образования задачу оперативной и массовой подготовки кадров в области высокопроизводительных вычислений. Решению данной задачи посвящен проект Комиссии Президента РФ «Создание системы подготовки высококвалифицированных кадров в области суперкомпьютерных технологий и специализированного программного обеспечения» [1]. В рамках данного проекта создан и действует Суперкомпьютерный консорциум университетов России.

1. Вычислительные кластеры для учебного процесса

Для подготовки специалистов в области высокопроизводительных вычислений необходим прямой или удаленный доступ к многопроцессорной вычислительной системе. Стоимость современных суперкомпьютеров не всегда доступна для многих образовательных и научно-исследовательских организаций. Наиболее доступной технической платформой являются кластерные вычислительные системы. Развитие сетевых технологий и улучшение технико-экономических показателей «цена/производительность» способствуют использованию их в качестве параллельных вычислителей.

Кластерные вычислительные системы фактически являются одним из направлений развития компьютеров с массовым параллелизмом. Привлекательной особенностью кластеров является то, что их можно строить на базе стандартных общедоступных технологий. Например, в наиболее доступной конфигурации можно использовать стандартные материнские платы процессоров Intel Pentium и сетевые адаптеры Fast Ethernet. Узлы кластера объединяются между собой посредством коммутатора Fast Ethernet на соответствующее число портов. Количество узлов и их конфигурация

зависит от требований, предъявляемых к вычислительным ресурсам конкретными задачами, и доступных финансовых возможностей.

Вариантом, обеспечивающим более высокую производительность, является использование систем на базе микропроцессоров Alpha, сетевых адаптеров технологии Gigabit Ethernet в качестве основной коммуникационной и Fast Ethernet в качестве интерфейса управления. Средой передачи является неэкранированная витая пара 5-ой категории.

Существуют различные конструктивные решения размещения узлов кластера и сетевого оборудования. Возможен монтаж материнских плат в стандартной стойке для электронного и электро-технического оборудования или специальные корпуса. Другой вариант: построение кластера на базе обычной локальной сети при инсталляции соответствующего программного обеспечения для скоординированного функционирования всех узлов. Одним из такого рода программным средством является Windows Compute Cluster Server 2003 (WCCS) корпорации Майкрософт.

Система WCCS построена на базе Windows Server 2003, с которой все уже знакомы. Пакет Compute Cluster Pack (CCP) в составе WCCS позволяет для развертывания, управления, мониторинга и обслуживания кластера использовать те же средства, что используются для выполнения аналогичных задач в системах Windows Server 2003. Вычислительные кластеры предъявляют ряд базовых требований, которые выполняются путем установки пакета Compute Cluster Pack. CCP — включает в себя следующие компоненты: встроенный планировщик заданий; поддержку интерфейса MPI для отраслевого стандарта MPICH2; инструменты пользователя и средства управления ресурсами кластера. Для реализации таких решений необходима лишь опорная платформа — Windows Server 2003.

Приведенные способы организации вычислительных кластеров, можно отнести к системам начального уровня для применения в высших учебных заведениях для организации учебного процесса.

2. Специализация по параллельным вычислениям

Специализация по параллельным вычислениям предполагает постановку специальных курсов по аппаратным средствам высокопроизводительной вычислительной техники, по системным программным средствам, по параллельным алгоритмам и методам в задачах прикладного анализа. Программа подготовки специалистов может включать следующие разделы: архитектура современных многопроцессорных вычислительных систем; системное программное обеспечение параллельных ЭВМ и сетей; технология программирования на параллельных машинах; крупномасштабное математическое моделирование и вычислительный эксперимент; параллельные алгоритмы вычислительной математики; параллельные технологии в прикладных задачах механики, теории управления, математической экономики, обработки изображений и т.д.

К вычислительным задачам, которым нужно уделять внимание с акцентом на параллельность алгоритмов, можно отнести: решение систем линейных алгебраических уравнений точными и итерационными методами; обращение матриц; минимизация функций многих переменных; решение систем дифференциальных уравнений; обработка экспериментальных данных. Введение новых предметов, обеспечивающих освоение проблематики параллельных вычислений, изучение современных технологий разработки параллельных программ, получения практических навыков параллельного программирования предполагает наличие технического обеспечения в виде многопроцессорной вычислительной системы. Поэтому на кафедре «Электронные вычислительные системы» ВСГУТУ разработан вычислительный кластер на базе существующей локальной сети. Кластер представляет собой набор рабочих станций общего назначения, для связи узлов используется стандартная сетевая технология Fast Ethernet на базе коммутатора. Узлы кластера могут одновременно использоваться в качестве пользовательских рабочих станций. В качестве операционной системы используется стандартная Linux, вместе со специальными средствами поддержки параллельного программирования и распределения нагрузки MPI (Message Passing Interface). Библиотеки MPI реализованы практически на всех современных суперкомпьютерах, а также могут использоваться и в кластерных системах, т.е. пригодны для использования в различных системах с распределенной памятью.

В настоящее время на кафедре в компьютерном классе создана модель кластера на следующем оборудовании: 20 компьютеров Intel Pentium, объединенных в сеть Fast Ethernet. Произведено тестирование кластера на имитационной модели распределенной автоматизированной системы управления, для чего предварительно проведено распараллеливание программы по данным. Программа работает следующим образом: каждый узел считает свою часть разбиения, результаты вычислений с каждого узла отправляются головному узлу для их обработки и вывода окончательного результата. При запуске MPI-программы создается коммуникатор по умолчанию MPI_COMM_WORLD, который передается каждой подпрограмме в качестве первого аргумента. Остальные аргументы определяют источник сообщения и буферы для хранения сообщений. MPI-подпрограммы возвращают целочисленное значение, как параметр ошибки, что позволяет узнать о любых проблемах, имеющих место при выполнении подпрограммы. Основные использованные процедуры MPI: MPI_Comm_size — определяет количество запущенных процессов; MPI_Comm_rank — определяет ранг процесса; MPI_Bcast — широковещательная рассылка; MPI_Reduce — операция сбора данных.

Вычислительные эксперименты показали, что использование параллельных вычислений дает большое ускорение выполнения программы, в данном случае более, чем в 10 раз. Следует принять во внимание, что в данном кластере использовалась далеко не самая современная по техническим параметрам техника: компьютеры и сетевое оборудование.

Заключение

Подготовка специалистов в области высокопроизводительных вычислений требует объединения всех заинтересованных сторон — ВУЗов, академических учреждений, предприятий, для которых готовятся специалисты. Также интеграция усилий должна произойти в кадровой сфере, в сфере вычислительных ресурсов и в сфере финансовой.

Список литературы:

1. Суперкомпьютерные технологии в науке, образовании и промышленности / под ред. академика В.А. Садовниченко, академика Г.И. Савина, чл.-корр. РАН Вл.В. Воеводина. — М.: Изд-во Московского университета, 2010. — 208 с.

References (transliteration):

1. Superkomp'yuternye tehnologii v nauke, obrazovanii i promyshlennosti / pod red. akademika V.A. Sadovnichego, akademika G.I. Savina, chl.-korr. RAN V.I. Voevodina. — M.: Izd-vo Moskovskogo universiteta, 2010. — 208 s.