

Автоматизация разработки параллельных программ для кластеров с ускорителями

В.А. Бахтин^{1,2}, Н.А. Катаев¹, А.С. Колганов^{1,2}, В.А. Крюков^{1,2}, Н.В. Поддерюгина¹
ИПМ им. М.В. Келдыша РАН¹, МГУ им. М.В. Ломоносова²

DVM-система, созданная в ИПМ им. М.В.Келдыша РАН при активном участии аспирантов и студентов факультета ВМК МГУ им. М.В.Ломоносова, предназначена для разработки параллельных программ научно-технических расчетов на языках C-DVMH и Fortran-DVMH. Эти языки используют единую модель параллельного программирования (DVMH-модель) и являются расширением стандартных языков Си и Фортран спецификациями параллелизма, оформленными в виде директив компилятору. Поскольку директивы невидимы для стандартных компиляторов, программист может иметь одну программу и для последовательного, и для параллельного выполнения на ЭВМ разной архитектуры.

DVMH-модель позволяет создавать эффективные параллельные программы для гетерогенных вычислительных кластеров, в узлах которых в качестве вычислительных устройств наряду с универсальными многоядерными процессорами могут использоваться ускорители (графические процессоры или сопроцессоры Intel Xeon Phi). При этом отображенные на узел вычисления могут автоматически распределяться между вычислительными устройствами узла с учетом их производительности.

Распараллеливание программы в модели DVMH можно разделить на следующие этапы:

- а) Распределение данных (массивов) и вычислений (параллельных циклов).
- б) Определение и спецификация удаленных данных (данные, которые вычисляются на одном процессоре, а используются на других).
- в) Определение вычислительных регионов (последовательности операторов, циклов) для выполнения на ускорителях.
- г) Управление перемещением данных между памятью ЦПУ и памятью ускорителей.

Основная сложность разработки параллельных программ для кластера - необходимость принятия глобальных решений по распределению данных и вычислений с учетом свойств всей программы, а затем выполнения кропотливой работы по модификации программы и ее отладке. Большой объем программного кода, многомодульность, многофункциональность затрудняет принятие решений по согласованному распределению данных и вычислений.

Для решения данной проблемы может использоваться метод инкрементального, или частичного распараллеливания. Идея этого метода заключается в том, что распараллеливанию подвергается не вся программа целиком, а ее части (области распараллеливания) - в них заводятся дополнительные экземпляры требуемых данных, производится распределение этих данных и соответствующих вычислений. Данные области могут быть построены на основе времен, полученных с помощью профилирования последовательной программы.

Для взаимодействия с теми частями программы, которые не подвергались распараллеливанию, используются операции копирования исходных (нераспределенных) данных в дополнительные (распределенные) данные и обратно. Конечно, операции копирования могут снизить или вообще ликвидировать эффект от распараллеливания. Кроме того, до полного распараллеливания (пока не все массивы программы будут распределены) программе будет требоваться память и для

распределенных, и для нераспределенных массивов, что может ограничивать размер решаемой задачи.

К достоинствам инкрементального распараллеливания можно отнести:

- а) Возможность распараллелить не всю программу, а ее времяемкие фрагменты, упрощает работу программиста, так как существенно сокращается объем кода программы для анализа и распараллеливания.
- б) Отказ от распараллеливания сложных фрагментов программы позволяет с большей вероятностью найти хорошие решения для выделенных областей распараллеливания.
- в) Найденные решения могут быть использованы в качестве подсказки при распараллеливании других частей программы на следующих этапах.

Идея инкрементального распараллеливания положена в основу новой версии системы САПФОР, которая предназначена для разработки параллельных программ в модели DVMH. Система реализует переход от последовательной программы к параллельной программе, отвечает за исследование свойств программы, принятие решений по устранению проблем, препятствующих распараллеливанию, распределение данных и вычислений, оценку возможных вариантов распараллеливания программы и взаимодействие с пользователем в интерактивном режиме.

В докладе будут рассмотрены особенности реализации новой версии системы САПФОР, продемонстрированы примеры успешного инкрементального распараллеливания реальных приложений.