

# Суперкомпьютер

## промышленного предприятия.

### Взгляд на особенности построения и эксплуатации

Построение предприятием собственного высокопроизводительного комплекса становится сегодня обычным мероприятием. Производственные цели, преследуемые при внедрении суперкомпьютера, различны, но все они в конечном итоге сводятся к повышению эффективности работы предприятия и улучшению его финансовых показателей. Область применения суперкомпьютерных платформ на промышленном предприятии бесконечно широка. В первую очередь, это системы автоматизированного проектирования, пакеты моделирования и средства численного

анализа. Из областей применения можно назвать гидрогазодинамику, механику твердого тела, прочностные расчеты различного рода, расчеты в области квантовой химии, материаловедения, сейсмоанализ и многие другие. Для каждой конкретной задачи требуется учитывать ее особенности, которые могут лежать в плоскости соотношения операций ввода/вывода с вычислительными операциями, интенсивности работы с памятью, количества задач, выполнение которых возможно осуществлять параллельно. Все это в целом необходимо учитывать при проектировании вычислительного кластера.

#### Архитектура современного суперкомпьютера

Исторически понятие “суперкомпьютер” связывалось с дорогостоящими вычислительными системами, которые могли позволить себе только крупные исследовательские организации и специализированные вычислительные центры. Легендарный суперкомпьютер CRAY-1, выпущенный в 1975 году, при своей пиковой производительности около 130 Мфлопс (что в 1000 раз меньше производительности современного центрального процессора Intel Xeon)



Суперкомпьютер Национальной лаборатории в Ливерморе

начал свою работу в таких крупнейших центрах США, как Национальная лаборатория в Лос-Аламосе и Национальная лаборатория в Ливерморе. Эти вычислительные центры и сейчас лидируют в области высокопроизводительных вычислений, но цифры уже совсем другие. Суперкомпьютер Национальной лаборатории в Ливерморе, например, занимает второе место в текущем мировом рейтинге ТОП-500 и обладает пиковой производительностью более 20 Пфлопс, и это на 8 порядков больше показателя 1975 года даже без учета большей разрядности данных.

Но в отличие от CRAY-1, являющегося системой с уникальной архитектурой, современные суперкомпьютеры – это, как правило, массово-параллельные системы, собранные из большого числа стандартных узлов, использующих для взаимодействия специализированные аппаратные и программные средства. Такое взаимодействие позволяет задействовать все ресурсы системы для решения одной задачи. Уменьшение же количества таких узлов, если не вдаваться в тонкости, приводит лишь к уменьшению производительности. Архитектурно и аппаратная, и программная часть суперкомпьютера не меняется. А это означает, что строить такой суперкомпьютер можно четко в соответствии с текущими потребностями производительности и финансовыми возможностями. Если CRAY-1 был изделием штучным и неделимым, то суперкомпьютер с массово-параллельной архитектурой (MPP) может начинаться с небольшого количества узлов и со временем вырастать до размеров “монстра”, способного состязаться в производительности с самыми мощными суперкомпьютерами по всему миру.

Повышение производительности стандартного узла приводит к многократному увеличению производительности суперкомпьютера (вычислительного кластера). Увеличение производительности чипов в результате гонки частот и повышения точности технологического процесса их производства, повышение количества одновременно

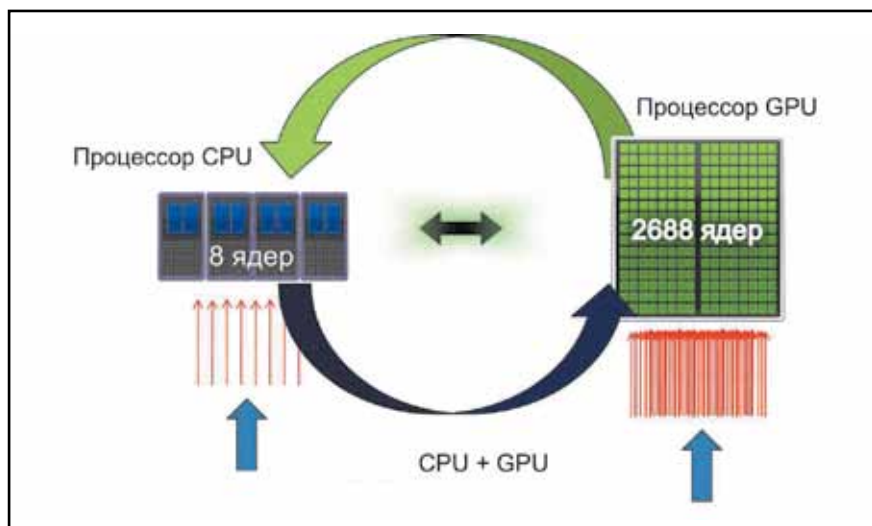
обрабатываемых потоков команд – это первый шаг на пути увеличения производительности узла. В настоящий момент уже можно утверждать, что он практически пройден, и каких-то кардинальных изменений в этой области в ближайшее время мы не увидим. Повышение производительности узлов сегодня связано в первую очередь с использованием так называемых акселераторов, работающих совместно с центральными процессорами на уровне вычислительных узлов кластера. Наиболее простым и, как оказалось, эффективным решением организации такого акселератора стало использование в качестве него специализированного процессора, изначально разработанного для графических расчетов. Использование графических процессоров для решения неграфических задач (GPGPU) привело к еще большему повышению доступности высокопроизводительных вычислительных систем и массовости их распространения.

Сама номенклатура массово применяемых ускорителей растет. Еще недавно это были в основном только графические процессоры, но в ноябре 2012 года корпорация Intel вывела на рынок специализированный ускоритель Intel Xeon Phi, который уверенно набирает обороты и с расширением поддержки со стороны производителей программного обеспечения несомненно займет свою нишу на рынке.

Но самый первый вопрос, который возникает перед разработчиком, это вопрос выбора программного обеспечения, с помощью которого предстоит решать поставленные задачи. Здесь возможны два кардинально отличающихся варианта: использование коммерческого программного обеспечения и заказная разработка программного обеспечения собственными силами предприятия или силами сторонней организации. В зависимости от используемого варианта и самой задачи можно сделать вывод о требуемой производительности суперкомпьютера, необходимых ресурсах. Пути, которые приводят к таким выводам, различны. Для коммерче-

ского программного обеспечения, как правило, существует уже наработанный опыт его использования, сформированные требования и рекомендации со стороны производителя. При самостоятельной разработке оценки могут быть только теоретическими и предварительными, и в этом случае помогает способность вычислительного кластера прозрачно масштабироваться. Проект можно начать с пилотного этапа и уже на его основе делать выводы о требуемых характеристиках промышленной системы. После чего масштабировать “пилот” до необходимой вычислительной мощности.

Еще один важный вопрос, оказывающий существенное влияние на характеристики суперкомпьютера, связан с особенностями использования вычислительных ресурсов при решении поставленной задачи. Если архитектура коммерческого ПО или математические модели, используемые при разработке собственного программного продукта, позволяют использовать SIMD-вычислители (одна команда – много данных) – это прекрасная возможность использовать акселераторы. Для сравнения: производительность современного центрального процессора Intel Xeon составляет около 200 Гфлопс, производительность же GPU Tesla K20 компании NVIDIA, на который ориентирована большая часть коммерческих программных пакетов, допускающих акселераторы, – более 1 300 Гфлопс. Количество ядер такого GPU составляет 2688 против 8-16 ядер современного центрального процессора. В масштабах сервера (вычислительного узла кластера) это выливается в повышение производительности с 400 Гфлопс (для двухпроцессорного варианта) до более 5,5 Тфлопс (в случае добавления 4-х GPU на узел). При росте производительности более чем в 13 раз энергопотребление возрастает приблизительно втрое, а стоимость примерно вдвое. Фактически при сравнении вычислительных кластеров на базе серверов стандартной архитектуры с гибридными кластерами отношения, приведенные



Гибридная архитектура

для одиночных узлов, сохраняются. Если учитывать, что меньшее энергопотребление означает и меньшее тепловыделение, а значит, и сокращение требований к холодопроизводительности климатических систем, эффект от использования гибридных вычислителей возрастет еще больше.

Эффект, получаемый с помощью акселераторов, столь значителен, что предприятия, обладающие высокопроизводительными вычислительными комплексами на основе узлов стандартной архитектуры при росте требований к производительности в основном выбирают не путь горизонтального масштабирования через увеличение количества узлов, а масштабирование через добавление акселераторов и перевод тем самым своей системы в разряд гибридных. Этот процесс становится возможным благодаря тому, что большинство ведущих производителей коммерческого ПО поддерживают гибридные вычислительные кластеры. Такая поддержка пока реализована в основном для акселераторов в виде GPU, но уже в ближайшее время ситуация может измениться, и список поддерживаемых типов акселераторов расширится. Немного сложнее обстоит дело, если для решения задач используется программное обеспечение самостоятельной разработки. Но и эта ситуация поправима. Если код уже написан под классическую вычислительную систему, существует возможность оперативно адаптировать код для работы

на гибридной системе с помощью специальных директив стандарта OpenACC. Для этого необходимо лишь отметить части кода, которые следует выполнять на GPU, отметить общие и индивидуальные для потока переменные. Такой подход позволит быстро оценить степень его ускорения при переходе на гибридную систему.

### **Инженерное обеспечение суперкомпьютера промышленного предприятия**

Вопросы выбора варианта построения суперкомпьютера, состава ресурсов, программного обеспечения для промышленного предприятия во многом схожи с решением таких задач для других областей использования. Однако есть вопросы, которые при внедрении суперкомпьютера на производстве стоят особенно остро. Это вопросы, связанные с размещением вычислительного оборудования и обеспечением для него благоприятных условий окружающей среды.

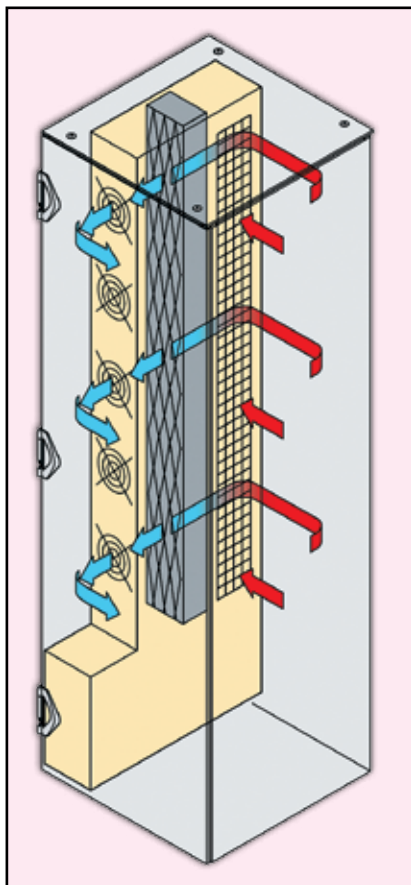
Несмотря на то, что высокопроизводительные вычислительные комплексы используются в основном инженерным и научным составом предприятий, размещать их зачастую приходится на производственных площадях или в непосредственной близости к ним. Связано это в первую очередь с необходимостью подвода сравнительно больших мощностей для электропитания

оборудования и обеспечения его работы (отвода тепла и др.). В свою очередь такое размещение приводит к неблагоприятному влиянию на электронные компоненты. Основными факторами, которые приходится учитывать, является загрязненный воздух, механические воздействия (вибрация перекрытий технологических помещений, низкочастотные акустические воздействия) и повышенный уровень помех в сети электропитания. При построении решений на единичных серверах такая проблема решалась бы простым использованием оборудования в промышленном исполнении. В случае вычислительного кластера использование серверов в промышленном исполнении или очень дорого, или невозможно, так как такие конструктивы, как правило, не предполагают размещения GPU или других сопроцессоров, используемых сегодня. Таким образом, общий подход в этом случае – по возможности минимизировать неблагоприятные факторы при выборе места размещения суперкомпьютера и, если это невозможно или недостаточно, использовать технические средства, уменьшающие влияние каждого из этих воздействий.

Самым простым, но и самым, пожалуй, важным шагом при построении системы бесперебойного электроснабжения является обеспечение качества электропитания. Необходимо обращать особое внимание на то, чтобы максимально изолировать так называемые цепи чистого питания от помех. В первую очередь отказываются от источников бесперебойного электропитания, построенных по схемам, не обеспечивающим развязку входных и выходных цепей, например линейно-интерактивных ИБП. Применение ИБП, построенных по схеме с двойным преобразованием, зачастую также не решает поставленной задачи, так как они пропускают помехи по линии нейтрали. Для исключения такого влияния в дополнение к ИБП применяются дополнительные схемы на основе развязывающих трансформаторов. Как правило, этого оказывается достаточно, чтобы обеспечить параметры питающего напряжения в

соответствии с требованиями производителей оборудования.

Вторым немаловажным фактором является обеспечение отвода тепла от компонентов суперкомпьютера. Обычно в случае стандартного ЦОД в качестве агента для переноса тепла используется воздух. В условиях промышленного предприятия часто нет возможности использовать воздух окружающей среды без специальной его подготовки. Еще одной особенностью, характерной для суперкомпьютеров, является то, что из-за высокой плотности размещения вычислительных ресурсов тепловыделение в расчете на монтажный конструктив также очень высоко. Если для классического ЦОД эта цифра составляет 5-7 кВт, то для монтажного шкафа с вычислительными узлами суперкомпьютера она может достигать 50 и более кВт. Наиболее рациональным подходом является использование монтажных конструктивов с закрытым воздушным контуром. Такой конструктив представляет собой герметично закрытый монтажный шкаф,



Закрытый конструктив с горизонтальной циркуляцией воздушных потоков

объединенный с теплообменником кондиционера. Нагретый оборудованием воздушный поток поступает на вход теплообменника, охлаждается и направляется для охлаждения оборудования снова. Эффективность использования кондиционера в таком решении значительно выше, чем в варианте с открытыми монтажными шкафами. Многократное использование воздуха, очищенного один раз, частично решает проблему защиты от пыли. Хотя в технологических помещениях при использовании таких конструктивов также стараются обеспечить качественную фильтрацию воздуха на уровне системы вентиляции помещения. В дополнение к этому в помещении обеспечивают небольшое повышенное давление для предотвращения подсоса загрязненного воздуха извне.

Особым подходом для обеспечения отвода тепла, решающим проблему загрязненного воздуха, является построение систем жидкостного охлаждения. На рынке появляются современные реализации технологий жидкостного охлаждения, подобные тем, которые использовались 20-30 лет назад. Технологии можно разделить на два типа: технологии без непосредственного контакта теплового агента с электронными компонентами и погружные системы охлаждения. При первом подходе агент движется по трубкам и, проходя через змеевики радиаторов, охлаждает чипы. Подобная схема была реализована в ЭВМ Эльбрус-1 в 1980 году. При втором типе электронные сборки помещаются в ванну со специальной жидкостью, часто в роли такой жидкости применяют минеральное масло. Подобный подход был использован разработчиками CRAY-2 в 1985 году. Если говорить о современных реализациях, в суперкомпьютерной отрасли используются оба подхода. Хотя нужно заметить, что первый распространен заметно шире. При жидкостном охлаждении систем вопросы фильтрации воздуха стоят не так остро, а в случае погружных систем частично решаются и вопросы виброзащиты электронных компонентов.

Организация виброзащиты суперкомпьютера в целом задача нетривиальная. Как правило, ее решение разделяется на две части: использование монтажных шкафов и стоек с виброзащитой и организация виброизоляционных платформ, которые в случае технологического помещения суперкомпьютера могут представлять собой фальшпол с решениями для развязки напольных опор от перекрытий здания. На практике исключить влияние вибраций полностью практически не удастся, а его влияние на электронные компоненты прогнозируется трудно. Размещение суперкомпьютеров в технологических помещениях, подверженных вибрационным нагрузкам, следует попросту избегать, так как вибрация даже в своем незначительном на первый взгляд проявлении неизбежно сказывается на ресурсе оборудования.

Несмотря на большое количество задач, целей, вариантов использования суперкомпьютера, вариантов его размещения и защиты от неблагоприятных факторов и, как следствие всего этого, необходимость индивидуального подхода к проектированию системы, хочется нарисовать "портрет" современного суперкомпьютера промышленного предприятия хотя бы крупными мазками. Безусловно, на настоящий момент это гибридный вычислительный кластер на базе GPU, размещенный в одном или нескольких монтажных шкафах с закрытым воздушным контуром. Высокая энергоэффективность такого решения позволяет более свободно подходить к выбору места размещения и исключить тем самым большинство неблагоприятных факторов окружающей среды. А сравнительно низкая стоимость одного терафлопса производительности такого суперкомпьютера позволяет получить максимальный эффект от его внедрения на предприятии и быстрый возврат вложенных в него инвестиций.

**Павел Анащенко,**  
системный архитектор,  
компания "Открытые Технологии"

**Главное промышленное мероприятие Северо-Запада!**



# **ПЕТЕРБУРГСКАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ ЯРМАРКА**

**12–14 марта 2013**  
**Санкт-Петербург, ВК Ленэкспо**

## **▲ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВЫСТАВКИ**

- Металлургия. Литейное дело
- Компрессоры. Насосы. Арматура. Приводы
- Обработка металлов
- Неметаллические материалы для промышленности
- AUTOPROM Russia 2013
- Услуги для промышленных предприятий
- Высокие технологии. Инновации. Инвестиции (Hi-Tech)

## **▲ ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ КОНГРЕСС**

## **▲ КОНКУРС ИННОВАЦИЙ**

## **▲ VII ПАРТНЕРИАТ**

Для свободного посещения выставок зарегистрируйтесь на сайте  
и обменяйте регистрационную форму на бейдж

**[www.ptfair.ru](http://www.ptfair.ru)**



Организатор

ВЫСТАВОЧНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ  
**РЕСТЭК®**

Тел.: (812) 320-80-92  
E-mail: [autopr@restec.ru](mailto:autopr@restec.ru)

**[www.ptfair.ru](http://www.ptfair.ru)**