

Грид¹: истоки, принципы и перспективы развития

В.Н. Коваленко, Д.А. Корягин

Аннотация. Работа посвящена подходу к созданию распределённых программно-аппаратных систем, получившему название грид и ставшему за последнее десятилетие одним из наиболее перспективных разделов информационных технологий. С учётом того, что имеются определённые расхождения в отношении концепции грида, предложена авторская точка зрения на её основополагающие принципы, способы применения и те новые возможности, которые открывает грид для организации распределённого компьютеринга в разных прикладных областях. Представлен анализ современного состояния ведущейся во многих странах мира деятельности по созданию грид-инфраструктур и разработке программного обеспечения грида. Выделены наиболее актуальные для российских условий направления развития работ в этой области.

Введение

В 1995 году в США закончилась программа «National Science Foundation (NSF) Supercomputer Centers», инициированная Национальным Научным Фондом в 1985 году. Важнейшим результатом выполнения этой программы явилось создание развитой коммуникационной инфраструктуры и нескольких суперкомпьютерных центров для поддержки академических работ и исследований. На завершающем этапе программы возникла идея создания виртуального метакомпьютера, которая к 1997 году была воплощена в пилотном проекте, концептуально объединившем ресурсы четырёх суперкомпьютерных центров NSF [1, 2].

Практика работ по этому проекту явилась не только своеобразным доказательством «теоремы существования» метакомпьютера, но и побудила поиск новых подходов к организации распределённого компьютеринга. При этом в центре внимания оказались не столько вопросы обеспечения высокопроизводительных вычислений, сколько проблемы поддержки крупномасштабных пространственно распределённых исследований и работ, проводимых на основе

международного, межведомственного или межкорпоративного сотрудничества.

В октябре 1997 года NSF инициировал новую программу развития информационных технологий, которая называется Partnerships for Advanced Computational Infrastructure (PACI). Ведущими сообществами программы стали National Computational Science Alliance (штаб-квартира University of Illinois at Urbana-Champaign) и National Partnership for Advanced Computational Infrastructure (штаб-квартира University of California at San Diego) [3].

В ходе работ по программе PACI возникла концепция грид-инфраструктуры, которая изначально рассматривалась как некая аналогия инфраструктуры электроэнергетической. В гриде так же, как и в электроэнергетической инфраструктуре, есть сетевая компонента и множество узлов компьютерных ресурсов (аналоги электростанций). Если электрическая сеть обеспечивает электропитанием всевозможные свободно подключаемые в разных местах приборы, то грид предоставляет распределённым потребителям разнообразные услуги по обработке и хранению данных. Понятно, что такое представление об информационно-вычисли-

¹ Термин используется в транслитерации авторов

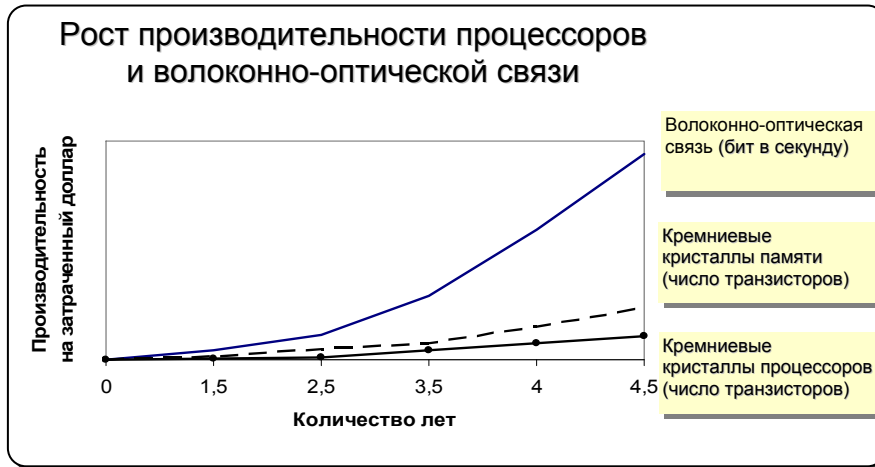


Рис. 1. Рост производительности процессоров и волоконно-оптической связи

тельной инфраструктуре будущего – это не более чем привлекательная метафора.

Последнее десятилетие развития информационных технологий характеризуется всё возрастающим вниманием к проблеме организации распределённого компьютеринга вообще и грид-компьютинга в частности. Это на наш взгляд обусловлено следующими факторами:

- существенным повышением (по закону Мура) производительности и вместе с тем снижением стоимости товарных процессоров (Рис.1), что позволяет как бизнесу, так и научным организациям создавать развитые распределённые системы с высокой производительностью (High Performance Computing – HPC) и высокой пропускной способностью (High Throughput Computing – HTC);
- значительным ростом быстродействия (пропускной способности) средств коммуникации компьютерных узлов (темпы роста показателей оптоволоконных коммуникаций вдвое превосходят темпы роста производительности процессоров, что обеспечивает низкий уровень латентности и высокую надёжность межпроцессорных связей в среде распределённого компьютеринга [4]);
- концептуальным, прагматическим и нормативным (речь о стандартах) совершенствованием технологии Web-служб, которая стала идеологической и инструментальной основой построения открытых архитектур распределённого компьютеринга [5];

- и последнее по списку, но не по значению – это глобализация бизнеса, промышленного производства, социального обеспечения и научных исследований, что обуславливает императив создания интернациональных, региональных, межкорпоративных и внутрикорпоративных инфраструктур распределённого компьютеринга.

1. Определение

Следует признать, что общепринятого определения, что такое **грид**, нет. Вообще говоря, появлению этого термина предшествовал целый ряд других терминов, которые используются и сейчас, но всё с иным смыслом, нежели грид. Например, такие как метакомпьютинг (metacomputing), масштабируемый компьютеринг (scalable computing), глобальный компьютеринг (global computing), Интернет-компьютинг и уже позже p2p-компьютинг (peer to peer-computing).

Интересно проследить, как изменялась интерпретация термина грид Я. Фостером, который является самым известным и последовательным экспертом в области грид-компьютинга.

«Компьютерная сеть (грид) – это аппаратно-программная инфраструктура, которая обеспечивает надёжный, устойчивый, повсеместный и недорогой доступ к высокопроизводительным компьютерным ресурсам» (Ian Foster, Carl Kesselman: «The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure», 1998 г.)

«Грид-компьютинг – это скоординированное разделение ресурсов и решение задач в динамически меняющихся виртуальных организациях со многими участниками» (Ian Foster, Steve Tuecke: «The Anatomy of the Grid», 2000 г.)

«Грид – это система, которая:

- координирует использование ресурсов при отсутствии централизованного управления этими ресурсами,

- использует стандартные, открытые, универсальные протоколы и интерфейсы,

- обеспечивает высококачественное обслуживание».

(Ian Foster: «What is the grid?», 2002 г.)

Можно заметить, что в этих определениях говорится о двух значениях термина грид, раскрывающих различные стороны этого понятия. *Во-первых*, под **гридом** понимается аппаратно-программная инфраструктура, в которой обеспечивается скоординированное и эффективное разделение ресурсов, находящихся в административных доменах его участников. Примерами таких инфраструктур являются разработки, выполненные в рамках проектов Enabling Grid for E-science in Europe (EGEE), DEISA, GRID 2003, National China Grid (NCG), TeraGrid, Earth System Grid (ESG), Japanese Computational Grid Research Project (NAREGI) и другие.

Во-вторых, в аспекте системной поддержки пространственно распределенной обработки данных, **грид** – это концепции, технологии, методы и средства для разработки распределенных приложений, воплощаемые в форме так называемого промежуточного программного обеспечения (middleware), которое позволяет динамически интегрировать распределенные гетерогенные ресурсы в бесшовную виртуальную исполнительную среду и предоставляет услуги для прозрачного использования этой среды.

2. Истоки

Идея распределенного компьютеринга не нова и возникла, наверное, тогда, когда какая-то организация приобрела второй компьютер. Поэтому нет ничего удивительного в том, что ещё до появления грида было предложено и реализовано несколько моделей организации распределенного компьютеринга, которые оказали и

оказывают влияние на развитие этой технологии. Приводимая ниже таблица позволяет сопоставить используемые в настоящее время парадигмы распределенного компьютеринга.

Рассмотрение этой таблицы позволяет сделать вывод, что модель грида во многом подобна другим парадигмам (особенно CORBA и DCE) распределенного компьютеринга. Это создаёт широкое поле для дискуссий по поводу того, действительно ли так уж нова и нужна грид-модель. Детальное сопоставление целенаправленности, достоинств, особенностей и различий моделей распределенного компьютеринга требует специального обсуждения, здесь же мы хотим отметить те ожидаемые практические продвижения, которые авансируются в работах, посвящённых гриду [6-8]:

- грид обеспечит возможность создания **виртуальных организаций** [7], представляющих собой новую форму проблемно-ориентированной кооперации предприятий, научных центров, образовательных учреждений, а также отдельных пользователей, которая осуществляется на основе динамической интеграции и совместного использования принадлежащих им интеллектуальных, программных, информационных и аппаратных ресурсов;

- грид может стать уникальным по мощности инструментом для приложений, требующих массовой обработки данных;

- грид позволит обеспечить хостинг для новой индустрии глобально распределенной обработки данных;

- грид обеспечит высокопродуктивное использование интегрируемых ресурсов;

- грид позволит создавать гибкие структуры управления в промышленности и коммерции.

В прагматическом понимании сейчас **грид** – это концепция и технологии бесшовной интеграции расположенных в разных местах телекоммуникационной сети (то есть распределенных) компьютерных систем для обеспечения более эффективного использования ресурсов и решения прикладных задач принципиально нового уровня сложности. За последнее пятилетие грид оформился в отдельное направление отрасли информационных технологий, поддерживающее следующие приложения:

• *Высокопроизводительный компьютеринг (НРС)*. Грид используется для агрегирования компьютерных ресурсов при решении очень больших задач, которые не могут быть выполнены на какой-то одной компьютерной установке. Типичными примерами таких задач являются интерактивное моделирование военных действий, моделирование сложных физических процессов (астрофизика, газовая динамика, прогнозирование погоды и т.д.).

• *Компьютеринг с высокой пропускной способностью (НТС)*. Грид обеспечивает утилизацию свободного процессорного времени в пуле доступных компьютеров при обслуживании большого потока слабосвязанных или независимых задач. В качестве примера можно привести использование множества распределённых рабочих станций для решения сложных задач криптографии, проектирования и анализа.

Парадигмы распределённого компьютеринга

ХАРАКТЕРИСТИКА	КЛАСТЕР	DCE	CORBA	P2P	ГРИД
Управление ресурсами (компьютеры, память, накопители, ввод/вывод, коммуникации)	Централизованное	Распределённое	Распределённое	Распределённое	Распределённое
Распределение/планирование ресурсов	Централизованное	Централизованное	Централизованное	Децентрализованное	Децентрализованное с учётом приоритета локального управления
Системное представление	Зафиксированный гомогенный комплекс компьютеров	Гетерогенный комплекс компьютеров	Гетерогенный комплекс компьютеров	Среда, динамически формируемая из распределённых рабочих станций	Гетерогенная среда, динамически формируемая из пространственно распределённых пулов компьютеров
Интероперабельность	Гарантирована внутри системы	Поддерживается с определёнными ограничениями	Поддерживается с определёнными ограничениями	Поддерживается в соответствии с принятыми в среде стандартами	Поддерживается в рамках соглашений инфраструктуры
Базовые аппаратные компоненты	Однотипные компьютерные модули	Компьютерные ресурсы организации, владеющей комплексом	Компьютерные ресурсы организации, владеющей комплексом	Автономные компьютеры пользователей среды	Компьютерные ресурсы членов виртуальной организации
Средства коммуникации	Целевые средства межпроцессорного обмена или локальная сеть	Локальная, корпоративная или региональная сеть	Локальная, корпоративная или региональная сеть	Интернет, региональная или корпоративная сеть	Интернет, региональная или корпоративная сеть
Исполнительная конфигурация	Сервер высокой или средней производительности	Специализированный комплекс компьютеров	Специализированный комплекс компьютеров	Одноуровневая компьютерная инфраструктура	Многоуровневая компьютерная инфраструктура
Масштабируемость	Ограничена возможностями средств коммуникации кластера	Ограничена возможностями средств коммуникации комплекса	Ограничена возможностями средств коммуникации комплекса	Ограничена возможностями средств коммуникации виртуальной организации	Теоретически неограничена (практически определяется параметрами среды коммуникации и числом клиентов)
Механизм обновления	Определяется политикой локальной системы управления	Централизованный индекс и локальные механизмы обновления	Централизованный индекс и локальные механизмы обновления	Всегда децентрализованный	Централизованный индекс и локальные механизмы обновления
Утилитарность	Решение отдельных задач различной сложности	Обслуживание корпоративной деятельности	Обслуживание корпоративной деятельности	Обслуживание запросов анонимных клиентов	Обслуживание деятельности виртуальной организации

- *Компьютинг по запросу (on-demand computing)*. В данном случае грид обеспечивает возможность быстрого и краткосрочного доступа к ресурсам, которые не могут быть все размещены локально по техническим или экономическим условиям, то есть обеспечивает возможность разделения дефицитных ресурсов. При этом ресурсы могут быть самые разнообразные: компьютеры, программное обеспечение, репозитории данных, датчики и другие устройства. В отличие от НРС доминантным критерием приложений этого типа является соотношение стоимость/производительность, а не абсолютная производительность. Примерами задач, часто решаемых при обработке запросов, являются выделение ресурсов, планирование, управление программным проектом, обеспечение безопасности и расчётно-платёжные процедуры.

- *Компьютинг больших массивов данных (data-intensive computing)*. Грид обеспечивает процесс синтеза новой информации из данных, накапливаемых в географически распределённых архивах, электронных библиотеках и базах данных. Этому процессу часто свойственна как большая вычислительная, так и коммуникационная интенсивность. Проблемы, решаемые в этом классе приложений, охватывают вопросы распределённого хранения больших объёмов данных, передачи их по сети и многоуровневой обработки.

- *Компьютинг поддержки сотрудничества (виртуальных организаций)*. В данном случае основной функцией грида является поддержка кооперативной деятельности реальных участников виртуальных организаций, предоставляющих свои ресурсы для выполнения совместных проектов. В большинстве случаев деятельность виртуальной организации, связана с ранее перечисленными приложениями, интеграцией предоставляемых ресурсов и разделением доступа к ним.

3. Принципы организации грид-инфраструктуры

Для того чтобы обеспечивать качественное обслуживание пользователей, грид-инфраструктура должна обладать четырьмя важными свойствами.

1. *Распределённость на множестве административных доменов и автономизация ресурсов*. Ресурсы грид-инфраструктуры географически распределены по разным административным областям и принадлежат различным организациям, их подразделениям или даже отдельным пользователям, и поэтому:

- не допускается какое-либо вмешательство в техническую политику административного сайта;
- нельзя подвергать риску уже используемые службы безопасности сайтов;
- нельзя заменять используемые операционные системы, сетевые протоколы или службы;
- необходимо создать условия для того, чтобы распределённые сайты могли свободно подключаться или отключаться от инфраструктуры;
- необходимо обеспечивать надёжность и устойчивость к отказам ресурсов виртуальной организации.

2. *Гетерогенность*. Грид-инфраструктура связана с использованием множества гетерогенных ресурсов и технологий, поэтому:

- нельзя устанавливать ограничений на парадигмы программирования, языки или инструментарии, выбираемые пользователями;
- необходимо обеспечивать интероперабельность гетерогенных компонент;
- необходимо использовать стандарты и существующие технологии, и давать средства взаимодействия с наследуемыми приложениями.

3. *Масштабируемость*. Грид-инфраструктура может динамически расти от небольшого числа до миллиона интегрированных ею ресурсов. Это порождает проблему снижения производительности по мере роста грида. Поэтому приложения, требующие большого числа географически распределённых ресурсов, должны проектироваться с учётом латентности инфраструктуры.

4. *Динамичность или адаптивность*. В грид-инфраструктуре отказ скорее правило, а не исключение. Поскольку число ресурсов, охваченных гридом, очень велико, то и вероятность возникновения отказа велика. Управление ре-

сурсами и приложениями должно быть организовано с учётом этого фактора, а в узлах виртуальной организации необходимо обеспечивать надёжность и устойчивость к отказам.

Грид-инфраструктура, подобно Web, должна обеспечивать возможность взаимодействия со всем спектром современных и появляющихся технологий программного обеспечения. Как известно, пользователь Web не должен думать о том, какая платформа установлена на сервере, к которому он обратился. Для него существенно, чтобы запросы на Web-услуги выполнялись быстро и эффективно. Точно так же, пользователь грида не должен знакомиться с деталями программных и аппаратных средств инфраструктуры. Единственное, что ему необходимо знать для получения корректных результатов, это интерфейсы доступа к ресурсам.

Идеальная грид-инфраструктура должна обеспечивать доступ в бесшовной среде так, чтобы физические разрывы, например такие, как различия между платформами, сетевыми протоколами и административными границами, стали совершенно прозрачными. По существу, промежуточное программное обеспечение грида превращает гетерогенную базу грид-инфраструктуры в единую гомогенную.

4. Состояние дел

Ещё относительно недавно активность, связанная с грид-компьютингом, воспринималась многими экспертами, разработчиками программного обеспечения и пользователями информационных технологий не иначе, как некий **hype** (*реклама*). Причиной этому было и обычное недоверие к чему-то новому, и неопределённость прагматики, и отсутствие общепризнанных исследовательских результатов и реализаций. Приводимые ниже факты свидетельствуют, что положение существенно изменилось как с точки зрения оценки значимости направления грид, так и с практической стороны: налицо значительные достижения в деле создания промежуточного программного обеспечения и в развертывании действующих грид-инфраструктур.

- Ещё в 1998 году был создан и успешно развивается свободно распространяемый инструментальный пакет Globus Toolkit (в настоя-

щее время выпущена его четвёртая версия). Этот комплекс, являющийся технологической базой создания грид-инфраструктур, разработан специалистами Аргоннской национальной лаборатории (Argonne National Laboratory – ANL) и Института информатики университета Южной Калифорнии (University of Southern California's Information Sciences Institute) и стал de facto стандартом грида [9-11].

- В 1999 году сформировалось и активно действует международное научное грид-сообщество – Open Grid Forum (OGF), в деятельности которого принимают участие эксперты из многих стран [12].

- Инициированы и успешно реализуются десятки масштабных международных, национальных, ведомственных и корпоративных проектов. Большинство этих проектов ориентировано на поддержку научных исследований, но немалое место занимают и проекты, ориентированные на поддержку электронного бизнеса. Последнее чрезвычайно важно, потому что, как показывает практика, только широкое распространение того или иного направления информационной технологии среди производственных, финансовых, социальных и административных структур является залогом его жизнеспособности.

- По инициативе ряда крупнейших компаний индустрии компьютеринга в 2004 году создано объединение Enterprise Grid Alliance (EGA), в 2006 году вошедшее в состав OGF. Основной своей целью EGA считает адаптацию академических разработок по грид-технологиям применительно к потребностям предприятий. Это касается, прежде всего, системы стандартов, унифицирующих разработку грид-инфраструктур. Альянсом EGA подготовлен и опубликован ряд важных документов [13].

- В результате совместных усилий членов OGF и экспертов ведущих компаний в области информационных технологий была разработана согласованная концепция (так называемая Web Services Resource Framework) использования технологий Web-служб для создания грид-инфраструктуры. На основе этой концепции определён и принят ряд стандартов и готовятся новые стандарты [14].

- Наконец, для профессионалов важен факт создания компаниями **Hewlett-Packard, IBM, Intel, Sun Microsystems** и **Nortel Networks** Консорциума **Globus (Globus Consortium)** [15], нацеленного на коммерческое продвижение инструментального пакета **Globus Toolkit**. В Консорциум также вошла фирма **Univa**, учредителями которой стали создатели инструментального комплекса **Globus Toolkit**, а спонсорами указанные выше всемирно известные компании.

Всё это свидетельствует о развивающемся сотрудничестве научных организаций и бизнеса.

4.1. Развитие программного обеспечения

Несмотря на многообразие архитектурных и технологических решений, которые уже сформировались и апробированы в грид-компьютинге, в каждом проекте грида просматриваются три основные структурные компоненты: коммуникационная среда, связывающая распределённые ресурсы, промежуточное программное обеспечение распределённого компьютеринга в гетерогенной исполнительской среде и программные приложения, реализующие соответствующие процессы обработки данных. Такого рода структуризация нашла своё отражение в расстановке приоритетов на трёх этапах развития грид-компьютинга.

Первый из них связан с концепцией так называемого метакомпьютинга, где основной целью было создание компьютерной среды максимальной возможной производительности путём связывания ресурсов суперкомпьютерных центров через высокоскоростные сети. На этом этапе приоритетными оказались *ad hoc* подходы и реализации, обеспечившие возможность решения ряда масштабных вычислительных задач в распределённой среде. Необходимо отметить, что работа в среде метакомпьютинга требовала весьма высокого уровня квалификации пользователей, поскольку при этом не предоставлялся целый ряд рутинных услуг.

Следующий этап характеризуется переходом к систематизации архитектуры, компонент и форм реализации промежуточного программного обеспечения. На этом этапе была разработана первая версия инструментального пакета **Globus Toolkit (GT)**, определено понятие виртуальной организации (*virtual organization*) как основной

формы сотрудничества в грид-среде и обоснована концепция Открытой Архитектуры Грид-Служб (**Open Grid Services Architecture – OGSA**). Ключевые положения этой концепции были согласованы с уже практически использовавшимися решениями Архитектуры Web-служб (**Web Services Architecture**) и восприняты наукой и промышленностью в виде концепции **WSRF (Web Services-Resource Framework)**. Далее были опубликованы спецификации стандартов **WSRF** и, главное, достигнуто понимание того, что дальнейшее продуктивное продвижение в распределённом компьютеринге и в грид-компьютинге в частности возможно только на основе определения, развития и стандартизации Web-служб, используемых в гридах.

Третий этап эволюции грид-компьютинга можно назвать этапом интеллектуализации промежуточного программного обеспечения. Такой процесс развития обусловлен появлением новых парадигм распределённого компьютеринга таких, как **семантический грид (semantic grid)**, **агентский грид (agent grid)**, **автономный компьютеринг (autonomic computing)**, **повсеместный компьютеринг (ubiquitous computing)** и **проникающий компьютеринг (pervasive computing)**. Отличительной особенностью этих парадигм является то, что они ориентированы не только на интеграцию ресурсов, но и на механизмы представления и использования знаний о ресурсах для обеспечения гибкости процессов обработки данных в условиях неопределённой и динамичной среды. Работы в этом направлении начаты только в последние годы, практических результатов пока мало, но значимость тенденции интеллектуализации промежуточного программного обеспечения трудно переоценить.

Следует особо подчеркнуть, что хотя отмеченные этапы эволюции грид-компьютинга рассмотрены хронологически последовательно, ни один из этих этапов еще не завершен: исследования и разработки продолжают по всем направлениям.

4.2. Создание грид-инфраструктур

В настоящее время во многих странах мира развёрнуты проекты по созданию и развитию грид-инфраструктур различной проблемной направленности и мощности. Краткое знакомство с

некоторыми проектами, возможно, позволит представить общую картину в рассматриваемой области индустрии обработки данных.

Крупнейший в мире Грид (*мы используем термин **Грид** тогда, когда речь идет о конкретной реализации, а термин **грид** для обозначения концептуально-технологической категории, так же как это имеет место при использовании терминов **Интернет** и **интернет*** [16]) создан в международном проекте EGEE (**Enabling Grids for E-science**) [17], который финансируется Европейской Комиссией. Проект выполняется консорциумом из 94 организаций 45 стран, объединяющихся в региональные Гриды. География EGEE охватывает Европу (Рис. 2), Тихоокеанские страны Азии, Австралию и США.

Созданная в рамках проекта EGEE грид-инфраструктура имеет суммарно 41.000 процессоров и в ней ежедневно обрабатывается до 100.000 заданий вычислительного характера. Научно-исследовательское сообщество получило в распоряжение общий рынок компьютеринга, услуги которого – круглосуточный доступ к крупнейшим компьютерным ресурсам. Доступ к ним не зависит от местоположения потребителей и основывается на научных сетях Geant и NRNs.

С российской стороны в EGEE принимают участие институты Москвы, Московской области и Петербурга: НИИЯФ МГУ, ИТЭФ, ИФВЭ, ИМПБ РАН, ИПМ РАН, ОИЯИ, ПИЯФ РАН, РНЦ КИ², образовавших региональный консорциум **РДИГ (Российский ГРИД для интенсивных операций с данными)** [18].

Одной из основных задач, для решения которой предназначен Грид EGEE, является обработка данных с Большого адронного коллайдера (Large Hadronic Collider – **ЛНС**), строительство которого завершается в ЦЕРНе (Женева). Эксперименты на ускорителе ЛНС будут порождать потоки данных с экстремаль-

ными характеристиками: 100 Мбайт/с и общим объемом 12-14 петабайтов в год, что составляет примерно 20 миллионов компакт-дисков. Справиться с такими потоками по силе, пожалуй, только распределенной архитектуре грида, интегрирующей находящиеся в разных частях мира ресурсные центры. Эти центры получают по сети файлы данных с ЛНС, обеспечивают их хранение и выполняют обработку по детектированию существенных событий.

Грид EGEE – это научный Грид для хранения и обработки большого объема данных. Однако концепция грида рассчитана также на дистанционное предоставление различных предметно-ориентированных услуг и способна поддерживать функционирование глобально распределенных прикладных систем с простыми и наглядными функциями: банковских операций, коммунальных платежей, продаж билетов, поддержки документооборота, оперативного управления, мониторинга окружающей среды.

В таком варианте грид получает большое социальное звучание, поскольку многие промышленные, государственные и коммерческие организации представляют собой географически распределенные структуры с взаимодействующими подразделениями. Функционирование подобных структур может быть в высокой степени автоматизировано на основе грид-технологий подобно тому, как привычными стали программные приложения, действующие в магазинах, банках и в учреждениях. Грид дает качественно новый уровень за счет того, что функционирование осуществляется путем прямого взаимодействия программ, реализуемых в форме Web-служб, без участия людей. Результатом становится достоверность получаемой информации в любой точке, оперативность и использование самых сложных форм обработки данных.

В этой связи весьма интересен и прагматичен опыт американской компании United Devices (с сентября 2007 вошла в состав компании Univa UD). Для демонстрации возможностей распределенного компьютеринга в 2002 году United Devices создала два варианта Грид-инфраструктуры, утилизирующей ресурсы пространственно распределенного пула персональных компьютеров, рабочих станций и отдельных серверов [19].

² НИИЯФ МГУ – Научно-исследовательский институт ядерной физики, ИТЭФ – Институт теоретической и экспериментальной физики, ИФВЭ – Институт физики высоких энергий, ИМПБ РАН – Институт математических проблем биологии РАН, ИПМ РАН – Институт прикладной математики РАН, ОИЯИ – Объединенный институт ядерных исследований, ПИЯФ РАН – Петербургский институт ядерной физики, РНЦ КИ – Российский научный центр Курчатовский институт

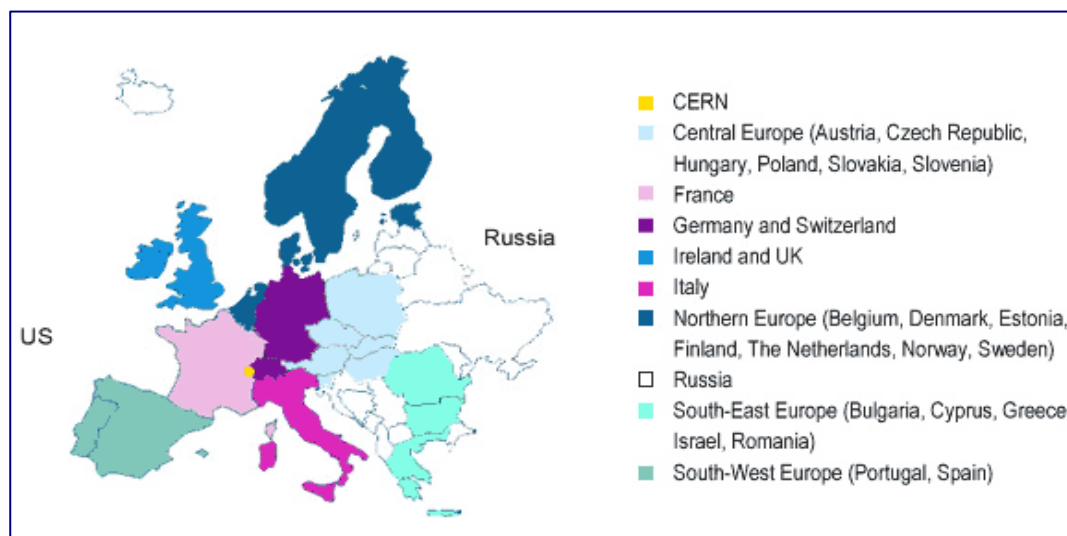


Рис. 2. Европейские участники проекта EGEE

Первый вариант - открытая публичная инфраструктура Grid MP Global, действующая в Интернете. Добровольцы могут свободно получить и установить на своей машине программ-агент, которая подключает их к инфраструктуре. Таким способом United Devices удалось собрать до 2 миллионов ПК и серверов. Способ подключения гарантирует, что интересы владельцев машин никоим образом не ущемляются: компьютеры работают на Грид только в периоды простоя.

Второй вариант - закрытая платная инфраструктура Grid MP On Demand, в которую входят свыше 6,000 расположенных в разных местах ПК с суммарной мощностью более 11 TeraFLOPs. Из этой инфраструктуры потребители получают на платной основе любые компьютерные мощности. География распределения компьютеров, задействованных в Grid MP On Demand, – все штаты США.

С первой инфраструктурой связана история проекта Anthrax (Сибирская язва) [20], который возник в связи с имевшимися в США случаями распространения по почте спор сибирской язвы и был направлен на поиск противоядия. Вычислительная часть задачи заключалась в том, чтобы произвести на белке язвы скрининг 3.57 млрд. потенциальных ингибиторов токсина. Грид состоял из 1.9 млн. машин, расположенных в 190 странах. Высокая точность и качест-

во обеспечивались пятикратным уровнем избыточности при скрининге каждой молекулы. Полный скрининг был закончен за 24 дня. В результате из 3.57 млрд. молекул были отобраны 376 064 как потенциальные кандидаты для разработки противоядия, из них 12 000 – как наиболее перспективные. По свидетельству специалистов Оксфордского университета, если бы эта работа делалась традиционными методами, она бы длилась несколько лет, а не четыре недели. Биологи действительно получили новый мощный инструмент, и этот пример Грида в действии далеко не единственный.

5. Грид в России

Успехи России в области пространственно-распределённого компьютеринга весьма скромны. К активу, несомненно, следует отнести создание достаточно развитой коммуникационной инфраструктуры для науки, высшей школы и промышленности. Однако, как уже отмечалось выше, коммуникации — всего лишь одна, хотя и очень важная технологически, базовая компонента грид-компьютинга, а функционально грид – это нечто существенно большее, нежели пул компьютеров, связанных сетью передачи данных.

Тем не менее, результативные исследования и пилотные разработки по грид-компьютингу ведутся в России, начиная с 1998 года, о чём свиде-

тельствуют материалы двух конференций «Распределённые вычисления и грид-технологии в науке и образовании», состоявшихся в ОИЯИ (Дубна) в 2004 и 2006 годах [21, 22].

Чрезвычайно важным событием явилось включение России в число участников международного инфраструктурного проекта EGGE. Деятельность российской стороны, направленная на создание национальной части (РДИГ) общей инфраструктуры EGEE, получила высокую оценку со стороны администрации проекта. Однако при всей их полезности подобные проекты не могут решить проблему развития грида в России в необходимой полноте, поскольку, например, в рамках распределения обязанностей в EGEE российские институты не смогли принять участия в проектировании грида и разработке промежуточного программного обеспечения (LCG [23], gLite [24]).

6. Основные направления развития

Рассматривая перспективы развития российского грида, прежде всего, заметим, что в центре внимания на трёх-пятiletний период должна быть проблематика промежуточного программного обеспечения, которая является доминантной проблемой на современном этапе. Наша позиция подтверждается подавляющим объёмом материалов, характеризующих state-of-the-art распределённого компьютеринга и, прежде всего, грид-компьютинга за рубежом, а также опытом работ по проекту EGEE.

В работе [1] 1992 года, когда грид только зарождался, было высказано немало верных, теперь уже проверенных практикой идей, остающихся актуальными и сейчас. Среди них мысль о том, что успех грид-компьютинга будет определяться сочетанием работ по развертыванию грид-инфраструктур, развитию программного обеспечения и созданию приложений для грида. Сейчас к этому следует, по-видимому, добавить еще один пункт – освоение мировых достижений в этой области. Единого определения грида нет, но разработаны технологии, протоколы, реализующие их программные средства, которые, возможно, и будут меняться, но на сегодняшний день именно они раскрывают содержание концепции грида. Грид – это инфраструктура, в которой важное место зани-

мает взаимодействие распределённых компонентов, и поэтому в ее основе должны лежать унифицированные принципы. Мы придерживаемся убеждения, что уже имеющиеся, используемые на практике технологии грида способны сыграть роль такой общей базы, и это даст возможность построить реально работающие грид-инфраструктуры для приложений из различных областей.

Исходя из высказанных соображений, далее мы рассматриваем наиболее актуальные разделы, охватывающие как вопросы информационно-аналитического сопровождения проблематики грид-компьютинга, так и проведения пилотных и утилитарных разработок прикладного и системного характера.

6.1. Информационное сопровождение

В настоящее время налицо острейший дефицит информационных русскоязычных материалов, посвящённых исследованиям и разработкам по грид-компьютингу. Нет ни одного отечественного периодического издания, за исключением журнала «Открытые системы», где бы регулярно обсуждались технологии и разработки по грид-компьютингу и смежным концепциям. Очень мало русскоязычных информационных сайтов по этой проблематике, к тому же нередко сайты имеют рекламный характер или просто дают ссылки на зарубежные источники.

Вместе с тем продуктивное продвижение работ невозможно без создания тематического информационного поля, где специалисты, уже участвующие или привлекаемые к работам по грид-компьютингу, а главное – студенчество, могли бы ознакомиться с общепринятой терминологической базой, а также получать актуальные и содержательные материалы.

В связи с этим необходимо проведение работ, способствующих более широкому, профессиональному и оперативному распространению материалов по пространственно-распределённому компьютерингу. Это может быть достигнуто путём расширения как круга тематических сайтов, содержащих достаточно подробные материалы, так и дайджест-сайтов, а также, возможно, изданием переводов актуальных зарубежных работ, подготовкой специальных курсов и монографий.

6.2. Аналитическое обеспечение

Развитие исследований и работ по пространственно-распределённому компьютерному протеканию чрезвычайно энергично и характеризуется постоянным появлением новых концепций, архитектурных решений, технологий и разработок. В настоящее время внимание экспертов грид-компьютинга всё больше и больше привлекают новые парадигмы распределённой обработки данных, упоминавшиеся выше.

Последние публикации свидетельствуют, особенно в плане решений, касающихся промежуточного программного обеспечения, о процессе конвергенции начальной концепции грид-компьютинга с другими концепциями (семантического, агентского и повсеместного) грида. Здесь уместно сослаться на статью [25] таких известных экспертов как J.Foster, N.R.Jennings и K.Kesselman, в которой обсуждаются взаимные интересы и возможности обеих концепций для создания открытых распределённых систем обработки данных.

Особого внимания заслуживает концепция Service Oriented Knowledge Utilities (SOKU), являющаяся в настоящее время фундаментальной теоретической платформой посвящённых гриду исследований и разработок, проводимых в рамках Европейского научного сообщества [26].

Вышесказанное имеет своей целью подчеркнуть необходимость не только информационной поддержки работ по гридам, но и проведения широкого профессионального анализа текущего состояния и эволюционных тенденций в проблематике пространственно-распределённого компьютерного, а также разработки новых методов и концепций грид-компьютинга. Здесь можно указать две большие сферы возможных исследований.

Во-первых, это базовые технологии работы с грид-службами: средства их создания, организация взаимодействия, разработка распределённых приложений на основе грид-служб. Особый интерес может представить оценка новых стандартов, рождающихся на стыке Web- и грид-служб.

Во-вторых, нуждаются в анализе функциональные возможности программного обеспечения грид: управление различными типами ресурсов, поддержка технологических свойств

(безопасность, надёжность и др.), управление виртуальными организациями и т.д.

Нам представляется, что проведение такого рода работ в сочетании с энергичной информационной поддержкой будет весьма важно для отечественного грид-сообщества.

6.3. Разработка прикладных грид-инфраструктур

Наполнение этого раздела целиком определяется портфелем заказов от потенциальных потребителей грид-инфраструктур. Работы по созданию инфраструктуры требуют затрат и их проведение должно иметь квалифицированное технико-экономическое обоснование.

Грид-инфраструктура может создаваться только при наличии её реальной или перспективной потребности.

Например, решающая аргументация в пользу проекта EGEE состояла в том, что если не осуществить международную интеграцию вычислительных ресурсов организаций, участвующих в моделировании процессов столкновения протонов на коллайдере LHC, то вычислительные ресурсы ЦЕРН к моменту начала проведения экспериментов будут на порядок меньше, нежели требуется для обработки поступающих экспериментальных данных.

Столь жёсткое требование к проектам создания грид-инфраструктур вовсе не означает их обязательной масштабности (но не масштабируемости). Как показывает зарубежная практика, большой эффект могут иметь малые формы инфраструктур. Возможно, начинать нужно как раз с небольших инфраструктур, однако такой подход будет эффективным лишь при условии, что проекты будут удовлетворять общепринятым в области грид стандартам. В качестве примеров можно привести несколько возможных направлений:

- создание пула суперкомпьютерных центров и обеспечение качественно нового уровня доступа к их ресурсам;
- информационный грид для обслуживания организаций, работающих в распределённых условиях;
- вычислительный грид на ресурсной базе компьютеров, находящихся в индивидуальном пользовании.

6.4. Работы по промежуточному программному обеспечению

Исследования и разработки, охватываемые этим разделом, вообще говоря, проблемно независимы. Поэтому здесь предоставляется возможность как заимствования свободно распространяемых пакетов, так и выполнения пилотных или утилитарных разработок собственных пакетов и отдельных программных компонент, которые могут быть адаптированы к уже известным и доступным реализациям промежуточного программного обеспечения. Наполнение этого раздела может оказаться чрезвычайно многоплановым, и это вполне естественно, поскольку, как уже отмечалось, тематика системных решений в пространственно-распределённом компьютеринге быстро эволюционирует. Тем не менее, следует особое внимание уделить таким частным проблемам, как:

- гуманизация пользовательских грид-интерфейсов;
- планирование пространственно распределённых ресурсов;
- экономика грид-компьютинга;
- безопасность грид-компьютинга;
- создание национального репозитория программного обеспечения грида;
- разработка различных вариантов программного обеспечения для грида разных типов и масштабов.

6.5. Освоение передовых технологий грид-компьютинга

Последний по перечислению, но первый по практической значимости для распространения грид-компьютинга раздел должен предусматривать цикл работ, связанных с освоением уже существующих технологий и программных разработок в среде академических институтов и ведомственных центров.

Для этого необходимо, как показывает зарубежная практика, создание **полигонов** (testbeds), где могли бы апробироваться новые отечественные и зарубежные реализации пространственно-распределённого компьютеринга и проходить подготовку специалисты, так или иначе вовлекаемые в сферу грид-компьютинга.

Естественно, что создание таких полигонов во все не означает появления новых организаций, а может и должно быть выполнено силами существующих институтов при соответствующей финансовой поддержке развития их аппаратно-технологической базы.

К этому разделу могут быть также отнесены проекты, предусматривающие:

- формирование комплектов системных служб, которые можно использовать при создании различных грид-систем;
- разработку и освоение технологий и инструментальных средств для создания приложений;
- использование созданных полигонов (например, РДИГ) для обслуживания прикладных специалистов;
- исследования технических характеристик грид-инфраструктур на основе моделирования;
- разработку и освоение средств установки и конфигурирования программной инфраструктуры.

Заключение

Информационный ландшафт грид-проблематики весьма разнообразен и широк. Выпускается целый ряд периодических печатных и электронных изданий, посвящённых грид-инфраструктурам, есть и фундаментальные работы, среди которых, прежде всего, следует отметить коллективную монографию [8].

В домене RU ведущими научными структурами России открыто несколько «грид-сайтов», каждый из которых имеет свой взгляд на столь дискуссионную концепцию. Авторы приглашают заинтересованного читателя посетить сайт www.gridclub.ru, который поддерживается ИПМ им. М.В.Келдыша РАН и компанией Hewlett-Packard, а также спонсируется Европейским Сообществом в рамках проекта EGEE.

Литература

1. Catlett C., Smarr L. Metacomputing. Communications of the ACM, 35(6), 44-52, 1992
2. Kaufmann III, W.J., Smarr L. Supercomputing and the transformation of science. Scientific American Library, a division of HPHLP, New York, 1993
3. Smarr L., (Guest Editor), Toward the 21st Century. Communications of the ACM, 40(11), 29-32, 1997
4. Stix G., The Triumph of The Light, Scientific American, January 2001, 82-99

5. World Wide Web Consortium (W3C).
<http://www.w3.org/Consortium>
6. Foster I., Kesselman C., Tuecke S. The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations . Inter. J. of High Performance Computing Applications, 15(3), 200-222, 2001
7. Foster I., Kesselman C., Nick J., Tuecke S. The Physiology of the Grid: An Open Grid Services Architecture for Distributed Systems Integration,
<http://www.globus.org/reseach/papers/ogsa.pdf>
8. Foster I., Kesselman C., (Editors), The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure (2nd Edition), San Mateo, CA: Morgan Kaufmann, 2004
9. Foster I., Kesselman C. Globus: A Metacomputing Infrastructure Toolkit, Intern. J. of Supercomputer Applications, 11(2), 115-128, 1997
10. Ian Foster. Globus Toolkit Version 4: Software for Service-Oriented Systems. H. Jin, D. Reed, and W. Jiang (Eds.): NPC 2005, LNCS 3779, pp. 2 – 13, 2005. © IFIP International Federation for Information Processing 2005
11. The Globus Alliance. <http://www.globus.org/>
12. Open Grid Forum. <http://www.ogf.org>
13. Documents from the Enterprise Grid Alliance (EGA).
<http://www.ogf.org/gf/docs/egadocs.php>
14. Open Grid Services Architecture WG (OGSA-WG).
<https://forge.gridforum.org/sf/projects/ogsa-wg>
15. The Globus Consortium.
<http://www.globusconsortium.org/>
16. Комер Д. Принципы функционирования Интернета. ПИТЕР®, <http://www.piter.com>
17. Проект EGEE (Enabling Grids for E-science).
<http://www.eu-egee.org>
18. Российский Грид для интенсивных операций с данными (РДИГ/EGEE).
<http://www.gridclub.ru/projects/rdig/>
19. Venkat, Jikku. "Grid Computing in the Enterprise with the UD MetaProcessor" in Second International Conference on Peer-to-Peer Computing (P2P'02).
20. In-silico Screening for Anthrax Toxin Inhibitors.
<http://www.chem.ox.ac.uk/anthrax/>
21. Распределенные вычисления и Грид-технологии в науке и образовании. Труды международной конференции (Дубна, 29 июня - 2 июля 2004 г.). Дубна: ОИЯИ, 2004. - 295 с. ISBN 5-9530-0070-7
22. Распределенные вычисления и Грид-технологии в науке и образовании. Труды второй международной конференции (Дубна, 26 – 30 июня 2006 г.). Дубна: ОИЯИ, 2006, Д11-2006-167
23. Worldwide LHC Computing Grid.
<http://lcg.web.cern.ch/LCG/>
24. gLite - Lightweight Middleware for Grid Computing.
<http://glite.web.cern.ch/glite/>
25. Ian Foster, Nicholas R. Jennings, Carl Kesselman. Brain Meets Brawn: Why Grid and Agents Need Each Other. AAMAS'04, July 19-23, 2004, New York, USA.
<http://citeseer.ist.psu.edu/712452.html>
26. Будущее европейских гридов: гриды и ориентированные на службы утилиты знаний; видение и направления исследований на период до 2010 года и далее.
<http://www.gridclub.ru/library/publication.2007-07-26.2892775056/view>.

Коваленко Виктор Николаевич. Заведующий сектором ИПМ им. М.В.Келдыша РАН. Окончил Московский физико-технический институт в 1973 г. Кандидат физико-математических наук (1983). Автор более 60 научных работ. Область научных интересов: распределённые вычисления, технологии грида.

Корягин Дмитрий Александрович. Заместитель директора ИПМ им. М.В.Келдыша РАН. Окончил Военно-воздушную инженерную академию им. Жуковского в 1959 г. Доктор физико-математических наук (1984), профессор кафедры системного программирования факультета ВМК МГУ. Автор более 110 научных работ. Область научных интересов: теория программирования, распределённые вычисления, технологии грида.