

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГРИДА: РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Коваленко В.Н., Коваленко Е.И., Корягин Д.А., Любимский Э.З.

Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН
Россия, 125047, Москва, Миусская пл. 4; тел. (495)250-79-82

kvn@keldysh.ru, kei@keldysh.ru, koryagin@keldysh.ru, ljubimsk@keldysh.ru

Введение

Тематика грида продолжает быстро развиваться – об этом свидетельствует и появление новых исследовательских направлений, и закрепление достигнутых результатов в стандартах, и крупные действующие и используемые инфраструктуры: EGEE (www.eu-egee.org), NorduGrid (www.nordugrid.org), CrossGrid (www.eu-crossgrid.org), OpenScienceGrid (www.ivdgl.org/grid2003), TeraGrid (www.teragrid.org).

В свое время концепция грида привлекла внимание новым способом решения вопроса интеграции пространственно распределенных компьютерных ресурсов для проведения крупномасштабных вычислений. Однако развитие концепции не ограничилось лишь прагматическим подходом к решению задач вычислительного характера. В этой связи важным представляется переход от относительно узкой проблемы управления пространственно распределёнными расчётами к проблеме создания многофункциональных сред пространственно распределённого компьютеринга с различной предметной ориентацией.

Цель доклада – показать, что программное обеспечение современных гридов имеет потенциал для эффективного применения в более широкой области, чем чисто счетные приложения, и определить возможные способы освоения этого потенциала.

На сегодня наибольшие успехи достигнуты в области гридов вычислительного типа, поэтому в качестве платформы для обсуждения перспектив выбрано, пожалуй, самое развитое промежуточное программное обеспечение из этой области – комплекс gLite (www.glite.org). Как известно, это промежуточное программное обеспечение становится основным для инфраструктуры проекта EGEE (www.eu-egee.org), приходя на смену пакету LCG [1]. Характеризуя gLite, следует учитывать, что его разработка не завершена, поэтому мы не будем сосредотачиваться на недостатках конкретного релиза, а рассмотрим этот комплекс с точки зрения его функциональных возможностей.

По нашему мнению возможности gLite определяются тремя группами технологий:

- интеграции и виртуализации ресурсов;
- поддержки функционирования грида;
- построения распределенных приложений.

Рассмотрим кратко суть этих технологий.

1. Интеграция и виртуализация ресурсов

Хотя в gLite, как и в его предшественниках, центральное место уделено решению задачи интеграции пространственно распределенных компьютерных ресурсов, это промежуточное программное обеспечение фактически поддерживает интеграцию не

Работа выполнена при поддержке фонда РФФИ (гранты № 04-07-90299, 05-01-00626, 06-07-89111), программы Президента РФ для ведущих научных школ (проект 2006-РП-112.0/001/417) и программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Разработка фундаментальных основ создания научной распределённой информационно-вычислительной среды на основе технологий GRID».

только ресурсов такого типа, но также ресурсов хранения и источников данных. Общее в интеграционных технологиях то, что во всех трех случаях результатом интеграции является единое поле ресурсов, которые становятся доступными из любой точки пространства проведения вычислений по протоколам, позволяющим работать с ними независимо от места их нахождения. Однако содержание интеграции, естественно, разное.

Единицей **вычислительных ресурсов** является компьютерная установка - CE (Computer Element). Множество установок объединяются таким образом, что каждую из них становится возможным использовать дистанционно для обработки приложений, оформляемых в виде заданий.

Технологии gLite, реализованные в подсистеме управления нагрузкой WLMS (WorkLoad Management System) [2], осуществляют виртуализацию вычислительных ресурсов установок, которая выражается в том, что для каждого задания автоматически подбираются соответствующие исполнительные ресурсы и создается адекватная исполнительная среда.

Ресурсы хранения (хранилища). Ресурсами, объединяющимися в элементы памяти - SE (Storage Element), здесь выступают запоминающие устройства – диски, массивы дисков, а также иерархические системы, в которых диски сочетаются с библиотеками со сменными носителями. Комплекс gLite обеспечивает логически полную интеграцию ресурсов хранения: множество хранилищ представляется общим пространством памяти, на котором размещается глобальная файловая система.

Виртуализация ресурсов хранения выражается в том, что:

- при создании файлов происходит автоматический выбор места их хранения;
- есть средства для создания дополнительных реплик, так что при доступе к файлу может быть выбрана “ближайшая” реплика.
- поддержка общего пространства именования в глобальной файловой системе обеспечивается технологией каталогов, в которых хранится соответствие логических имен файлов и данных об их реальном размещении.

Источники данных. Архитектура системы мониторинга комплекса gLite – R-GMA (Relational Grid Monitoring Architecture) [3] позволяет рассматривать в качестве источника данных любое приложение, регистрирующее изменяющиеся значения структурированных данных и способное выдавать эти значения по внешнему запросу. Например, это могут быть пользовательские интерфейсы или приложения, снимающие показатели датчиков. Если говорить о самом комплексе gLite, источниками данных являются программы мониторинга состояния ресурсов - CE и SE.

Интеграция заключается в том, что множество источников данных становятся доступными находящимся в разных местах потребителям. Используемые технологии не предполагают централизованного хранения всех данных. Поставка данных осуществляется избирательно: каждый источник определяет состав поставляемых данных, потребители регистрируют, какие данные они хотят получать, а с помощью реестра устанавливается виртуальная связь потребителя со всеми релевантными источниками.

Возможности технологий интеграции. Хотя в gLite технологии интеграции ресурсов хранения и источников данных играют отчасти вспомогательную роль по отношению к функции управления заданиями (которая поддерживается технологией интеграции вычислительных ресурсов), их программные базы - подсистема управления данными и информационная подсистема – вполне самостоятельны. Поэтому три типа интеграционных технологий могут применяться в разных сочетаниях, и это дает

возможность строить комплексные приложения, в которых совмещается оперативная поставка данных, хранение больших массивов и автоматическая обработка высокого уровня сложности.

Интеграция *компьютерных ресурсов и ресурсов хранения* прежде всего служит средством агрегирования больших объемов ресурсов для их коллективного и, как следствие, экономного использования. Это наделяет приложения, основанные на этих технологиях, способностью обеспечивать массовое и оперативное обслуживание большого числа пользователей. Эти же технологии могут быть средством обеспечения надежности приложений, поскольку с помощью механизма виртуализации может осуществляться репликация данных и использование альтернативных ресурсов.

Интеграция *источников данных*, в качестве которых могут выступать датчики, программные средства мониторинга, а также пользовательские интерфейсы:

- позволяет собирать информацию из множества разных мест;
- делает ее потенциально доступной повсеместно;
- позволяет осуществлять адресную доставку информации, с учетом ролей и прав получателей.

2. Технологии поддержки функционирования грида

Перейдем ко второй группе технологий - поддержки функционирования грида.

В предшественниках комплекса gLite – DataGrid [4], Condor [5], LCG впервые стала проводиться систематическая линия на то, что мало реализовать средства выполнения каких-то содержательных операций (запросов на управление заданием, или передачу файлов). В распределенной среде сам процесс выполнения операций должен поддерживаться специальным образом. Это дало толчок к развитию группы поддерживающих технологий, которая включает следующее.

Протоколирование. Обработка заданий производится различными компонентами программного обеспечения, которые в распределенной среде находятся в разных местах. Протоколирование осуществляет сбор диагностической информации и делает ее доступной в целом. Применяется механизм, который: 1) отслеживает задание в каждой точке, собирая диагностические сообщения обрабатывающих программ и записывая их в локальную базу данных (БД), 2) периодически передает собранную локальную информацию в общую БД, где она агрегируется.

Мониторинг заданий. Позволяет получить в каждый момент статус обработки задания. Ценность этой функции не только в информировании пользователя, а и в обеспечении надежности: при ошибке на каком-то этапе, должен быть проинформирован предыдущий, и, если сбой вызван техническими причинами, обработка может быть возобновлена на альтернативных компонентах инфраструктуры. Поскольку взаимодействие компонент не предполагает, что вызывающая ожидает окончания обработки и получает код возврата, механизм мониторинга основан на периодическом опросе состояния с вызывающего уровня на вызываемый.

Мониторинг ресурсов. Собирает статическую (характеристики) и динамическую (состояние) информацию о ресурсах. Исходя из этой информации, осуществляется виртуализация ресурсов: определяется возможность их использования, исправность и загруженность. Реализуется в виде программ-сенсоров (источники данных), расположенных в среде ресурсов и поставляющих данные в БД.

Учет потребления ресурсов. Детально регистрирует количество ресурсов, потребленных заданиями при их выполнении. Сбор этих данных необходим для выстраивания экономических отношений между поставщиками ресурсов и потребителями. Как и мониторинг, поставка данных осуществляется сенсорами,

анализирующими учетную информацию операционной системы обрабатывающих компьютеров и передающих ее в централизованную БД.

Поддержка коллективной деятельности. Грид – это среда, предназначенная для многопользовательского обслуживания. Сложность проблем, связанных с этим аспектом, обусловлена тем, что участники грида административно и пространственно распределены, и их невозможно обслуживать из одного центра.

Среди программных технологий, ориентированных на поддержку коллективной деятельности отметим:

- технологию аутентификации, основанную на инфраструктуре безопасности GSI (Grid Security Infrastructure) [6], и связанных с ней сертификатах, Центрах сертификации;
- технологию авторизации на ресурсах, использующую динамические экаунты с автоматическим отображением на них определенных в гриде прав пользователей. Это существенно облегчает локальное администрирование ресурсов;
- технологию виртуальных организаций VOMS (Virtual Organization Membership Service) [7], которая поддерживает создание и хранение прав и ролей пользователей.

Наряду с интеграционными, **поддерживающие технологии** являются той новацией, которая отличает подход грида от иных способов организации распределённого компьютеринга. Поддерживающие технологии требуются для того, чтобы процесс выполнения приложений был защищенным, надежным и контролируемым, а технология виртуальных организаций делают возможным обслуживание больших коллективов пользователей. Набор такого рода свойств является необходимым для поддержки приложений, от которых требуется функционирование в производственном режиме.

Из рассмотрения группы поддерживающих технологий можно сделать следующие выводы:

- эти технологии универсальны, в том смысле, что они не привязаны к каким-то определенным операциям, которые они поддерживают, и не зависят от их содержания.
- поддерживающие технологии необходимы, поскольку любая обработка запросов в гриде производится распределенно, при отсутствии какой-либо одной точки централизованного контроля. Хотя в gLite с наибольшей полнотой поддерживающие технологии задействованы в обработке вычислительных заданий, ясно, что они в равной степени необходимы и для управления файлами, и при выполнении информационных задач.

3. Перспективы применения грида и технологии построения распределенных приложений

Рассмотрим теперь gLite с точки зрения его применения. gLite (и подобные ему системы) – это комплекс, предназначенный для управления прикладными программами в распределенной среде ресурсов. Деятельность эта поддерживается многопланово, но сама она является специфической – это компьютеринг, ориентированный на научно-техническую сферу: пользователь работает с базовыми объектами – программами и файлами, то есть от него требуется квалификация хотя и прикладного, но все-таки программиста. Компьютеринг такого рода, несомненно, имеет ценность для решения различных и достаточно важных прикладных задач, но является всего лишь одним из возможных разновидностей распределённого компьютеринга, которые могут поддерживаться грид-инфраструктурой.

Тот багаж знаний и технологий, который накоплен в области вычислительных гридов, можно применить для решения существенно более общей задачи: поддержки, в виде распределенных приложений, практически любой использующей компьютеризированную производственную деятельность, участники или объекты которой пространственно распределены. В современном обществе такие условия характерны как для государственных институтов (вооруженные силы, административные и управляющие органы), так и для бизнеса (банковские и торговые системы, транспорт, производство). Во все эти сферы компьютеризация стала привычным делом, однако, применяемые предметно-ориентированные системы компьютеризации ограничены как территориально - рамками отдельных подразделений (несмотря на наличие Интернет), - так и по полноте охвата персонала.

Поэтому перспективы развития гридов мы связываем с существенным расширением сферы их применения, и это может быть достигнуто путем перехода к созданию распределённых приложений, использующих технологии грида.

Было бы преждевременным ставить такую цель при отсутствии **технологий создания распределенных приложений**. Однако, в рамках подхода грида предложена программная модель и соответствующие инструментальные средства, с помощью которых достаточно просто могут создаваться многопользовательские приложения, способные функционировать на имеющейся инфраструктуре распространённых Web-серверов. Как известно, такой способ разработки основывается на архитектуре OGSA (Open Grid Services Architecture) [8], реализованной с помощью стандартов Web-служб [9] и спецификаций WSRF (Web Services Resource Framework) [10] и WS-Notifications [11].

Отметим следующие достоинства инструментальных возможностей грид-технологий в плане построения распределённых приложений:

- вызовы удаленных функций оформляются аналогично обращениям к подпрограммам, так что программная модель похожа на традиционную процедурную;
- распределённые приложения обладают свойством модульности, причем взаимодействие распределённых модулей не требует постоянного сетевого соединения между всеми модулями, составляющими приложение (в отличие от монолитных корпоративных приложений);
- унификация взаимодействия распределенных компонентов приложений на основе стандартов позволяет использовать базовую программную инфраструктуру, которая может поддерживать одновременную работу множества приложений.

4. Задачи развития

Чтобы гриды и использующие их распределённые приложения начали широко использоваться в практике компьютеризации, необходимо разработать средства:

- создания инфраструктуры хостинга приложений;
- разработки распределенных приложений.

Грид, хотя и не имеет строгого общепринятого определения, имеет реальное воплощение в теории и программных средствах, что создает фундамент, способный консолидировать усилия в решении обеих задач. Однако для этого необходимо перейти к более активному освоению накопленного в мире опыта, который, конечно, не ограничен созданием комплекса gLite. В этой связи необходимо отметить такие значительные результаты как:

- появление комплекта стандартов Web-служб, спецификаций WSRF, WS-Notification и других, которые совместно с технологиями интеграции и поддерживающими технологиями создают теоретическую и технологическую базу для развития работ;
- создание крупного задела в виде свободно распространяемого программного обеспечения, которое реализует требуемую для распределенных приложений базовую поддержку и поддержку технологий грида;
- наличие развитых инструментальных средств разработки распределённых приложений.

Каким нам представляется развитие работ по проблематике грида?

Прежде всего это разработка типовых решений. Гриды должны создаваться заинтересованными в них организациями, а роль системных специалистов заключается в том, чтобы предложить технологические решения для типовых задач и отбор базовых программных средств.

Так, в деле создания инфраструктуры хостинга основное – решение двух проблем. Первое – разработка общегридовских серверов, в контейнерах которых могут быть установлены интеграционные и поддерживающие грид-службы. Второе - разработка шлюзовых служб, через которые ресурсы подключаются к грид. Создание же ресурсной составляющей инфраструктуры, которое подчас выступает главной задачей, должно быть оставлено создателям конкретных гридов.

Примерно таким же видится решение задачи разработки распределенных приложений. Если говорить о массовом применении грида, то приложения должны быть предметно-ориентированными, и их разработка должна осуществляться прикладными специалистами, а задачей системные специалисты должны обеспечить их типовыми решениями и инструментальными средствами. Упор должен быть на вопросы, как в приложениях могут использоваться системные, то есть интеграционные и поддерживающие технологии грида.

5. Конкретные направления деятельности

Наконец, в дополнение к высказанным общим соображениям укажем возможные конкретные направления деятельности по проблематике грида.

Аналитическое обеспечение. Развитие исследований и работ по грид-компьютингу протекает чрезвычайно энергично и характеризуется постоянным появлением новых концепций, архитектурных решений, технологий и разработок, так что упомянутый выше фундамент постоянно расширяется.

Можно указать две большие сферы возможных работ. Во-первых, это теория создания распределенных приложений на основе грид-служб: средства создания грид-служб и организации их взаимодействия, разработка клиентских частей. Особый интерес может представить оценка новых, рождающихся на стыке стандартов веб- и грид-служб. Во-вторых, необходимо провести детальный анализ базовых грид-служб, реализующих интеграционные и поддерживающие технологии, и разработать способы их применения в приложениях.

Создание инфраструктурных решений. К этому разделу могут быть отнесены проекты, предусматривающие:

- формирование комплектов инфраструктурных служб;
- исследования технических характеристик грид-инфраструктур на основе моделирования;
- разработку и освоение средств установки и конфигурирования промежуточного программного обеспечения грид-инфраструктуры

- использование созданных полигонов для постановки приложений

Разработка распределенных приложений. В качестве примеров можно привести несколько возможных проектов:

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

Работы по промежуточному программному обеспечению. Здесь представляется возможным как заимствование свободно распространяемых пакетов, так и проведение собственных разработок пакетов и отдельных программных компонент, с условием, что они могут быть адаптированы к уже известным и доступным реализациям программного обеспечения грида.

Следует особое внимание уделить таким проблемам как:

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

Заключение

На базе подхода и технологий грида, развитых в работах по вычислительному гриду и в смежных областях, становится реальным создание операционной среды – грид-инфраструктуры, которая может служить контейнером для множества одновременно работающих распределенных приложений, обеспечивая при этом доступ к множеству распределенных ресурсов. Такая альтернатива частным решениям, применяемым при разработке отдельных приложений, представляется наиболее рациональной перспективой развития области распределенного компьютеринга.

Литература

- [1]. LCG Middleware. <http://lcg.web.cern.ch/LCG/activities/middleware.html>
- [2]. Workload Management System User and Reference Guide. <https://edms.cern.ch/file/572489/1/EGEE-JRA1-TEC-572489-WMS-guide-v0-2.pdf>
- [3]. R-GMA C User and Reference Guide. <https://edms.cern.ch/file/503615/1.5/EGEE-JRA1-TEC-503615-v1.4.pdf>
- [4]. DataGrid Project Documentation. <http://marianne.in2p3.fr/datagrid/documentation/>
- [5]. Condor Project: <http://www.cs.wisc.edu/condor>
- [6]. R. Butler, D. Engert, I. Foster, C. Kesselman, and S. Tuecke. Design and Deployment of a National-Scale Authentication Infrastructure. *IEEE Computers*, 33(12):60--66, 2000
- [7]. R. Alfieri, R. Cecchini, V. Ciaschini, L. dell'Agello, A. Frohner, A. Gianoli, K. Lorente, and F. Spataro. Voms: An authorization system for virtual organizations. In *Proceedings of the 1st European Across Grids Conference*, Santiago de Compostela, Feb. 2003. <http://infnforge.cnaf.infn.it/voms/VOMS-Santiago.pdf>

- [8]. Foster I., Kesselman C., J. Nick, Tuecke S. The Physiology of the Grid: An Open Grid Services Architecture for Distributed Systems Integration. <http://www.globus.org/research/papers/ogsa.pdf>. Русский перевод: <http://www.gridclub.ru/library/publication.2004-11-29.8307957187>
- [9]. W3C Web Services Activity. <http://www.w3.org/2002/ws/>
- [10]. I.Foster, K.Czajkowski, D.Ferguson, J.Frey, S.Graham, D.Snelling, S.Tuecke. Modeling and Managing State in Distributed Systems: The Role of OGSF and WSRF, Proceedings of the IEEE, 93 (3), 2005
- [11]. S.Graham, P.Niblett, D.Chappell, A.Lewis, N.Nagaratnam, J.Parikh, S.Patil, S.Samdarshi, I.Sedukhin, D.Snelling, S.Tuecke, W.Vanbenepe, and B.Weihl. Publish - Subscribe Notification for Web services. 03/05/2004. <http://www-106.ibm.com/developerworks/library/ws-pubsub/WS-PubSub.pdf>