

Введение в технологию

Грид

**Гатчина
2006 г.**

Введение в технологию Грид

Составлено А.К. Кирьяновым и Ю.Ф. Рябовым
(Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова РАН)

Данное пособие является кратким введением в технологию Грид. Изложены основные понятия концепции Грид, описана архитектура, рассмотрены базовые инструментальные средства и пользовательский интерфейс. Представлены организационные основы проекта EGEE и участие в нем России.

Пособие предназначено для студентов, аспирантов, а также всех тех, кто планирует использование данной технологии для решения своих задач.

Оглавление

1. Введение.....	- 4 -
2. Концепция Грид	- 6 -
3. Архитектура Грид	- 7 -
3.1. Базовый уровень	- 8 -
3.2. Уровень связи.....	- 9 -
3.3. Ресурсный уровень	- 10 -
3.4. Коллективный уровень.....	- 11 -
3.5. Прикладной уровень.....	- 12 -
4. Понятие о Виртуальной организации	- 12 -
5. О распределении ресурсов в Грид.....	- 13 -
6. Инструментальные средства Грид (Globus Toolkit)	- 14 -
6.1. Управление ресурсами	- 15 -
6.2. Организация доступа к ресурсам	- 16 -
6.3. Информационный сервис.....	- 18 -
6.4. Безопасность.....	- 19 -
7. Дальнейшее развитие инструментальных средств	- 20 -
8. Программное обеспечение LCG	- 25 -
9. Пользователь в Грид	- 26 -
9.1. Использование интерфейса командной строки	- 28 -
9.2. Веб-интерфейсы Грид	- 31 -
10. Глобальная инфраструктура Грид для науки	- 32 -
11. Россия в проекте EGEE.....	- 36 -
12. Заключение	- 38 -
13. Литература	- 39 -

1. Введение

Технология Грид (Grid) используется для создания географически распределенной вычислительной инфраструктуры, объединяющей ресурсы различных типов с коллективным доступом к этим ресурсам в рамках виртуальных организаций, состоящих из предприятий и специалистов, совместно использующих эти общие ресурсы.

Термин Grid (сетка, решетка) начал использоваться с середины 90-х годов и был выбран по аналогии с сетями передачи и распределения электроэнергии (Power Grids).

Развитие и внедрение технологии Грид носят стратегический характер. В ближайшей перспективе эта технология позволит создать принципиально новый вычислительный инструмент для развития высоких технологий в различных сферах человеческой деятельности.

Идейной основой технологии Грид является объединение ресурсов путем создания компьютерной инфраструктуры нового типа, обеспечивающей глобальную интеграцию информационных и вычислительных ресурсов на основе сетевых технологий и специального программного обеспечения промежуточного уровня (между базовым и прикладным ПО), а также набора стандартизованных служб для обеспечения надежного совместного доступа к географически распределенным информационным и вычислительным ресурсам: отдельным компьютерам, кластерам, хранилищам информации и сетям.

Появление технологии Грид обусловлено следующими предпосылками:

- необходимостью решения сложных научных, производственных, инженерных и бизнес-задач;
- стремительным развитием сетевой транспортной среды и технологий высокоскоростной передачи данных;
- наличием во многих организациях вычислительных ресурсов: суперкомпьютеров или, что наиболее часто встречается, организованных в виде кластеров персональных компьютеров.

Применение технологии Грид может обеспечить новый качественный уровень, а иногда и реализовать принципиально новый подход в обработке огромных объемов экспериментальных данных, обеспечить моделирование сложнейших процессов, визуализацию больших наборов данных, сложные бизнес-приложения с большими объемами вычислений.

К настоящему времени уже реализованы и реализуются множество проектов по созданию Грид-систем. Большая часть этих проектов имеет экспериментальный характер. Исходя из результатов анализа проектов можно сделать вывод о трех направлениях развития технологии Грид: вычислительный Грид, Грид для интенсивной обработки данных и семантический Грид для оперирования данными из различных баз данных. Целью первого направления является достижение максимальной скорости вычислений за счет глобального распределения этих вычислений между

компьютерами. Проект DEISA (www.desia.org) может служить примером этого направления, в котором предпринимается попытка объединения суперкомпьютерных центров.

Целью второго направления является обработка огромных объемов данных относительно несложными программами по принципу «одна задача – один процессор». Доставка данных для обработки и пересылка результатов в этом случае представляют собой достаточно сложную задачу. Для этого направления инфраструктура Грид представляет собой объединение кластеров. Один из проектов, целью которого и является создание производственной Грид-системы для обработки научных данных, является проект EGEE (Enabling Grids for E-sciencE), который выполняется под эгидой Европейского Союза (www.eu-egee.org). Участниками этого проекта являются более 90 научных и образовательных учреждений со всего мира, включая Россию.

Построение инфраструктуры Грид в рамках проекта EGEE ориентировано, в первую очередь, на применение в различных отраслях научной деятельности, в том числе и для обработки данных в физике высоких энергий участниками экспериментов, проводимых на базе создаваемого в Европейском центре ядерных исследований (CERN, www.cern.ch) ускорителя LHC.

Проект EGEE тесно связан на данной фазе развития с проектом LCG (LHC Computing Grid), который, по существу, и является его технологической базой. Ведется активная работа по расширению российской инфраструктуры Грид (RDIG, www.egee-rdig.ru).

Несмотря на достаточно тесное взаимодействие многих проектов, конкретные реализации Грид-систем отличаются друг от друга, хотя к настоящему времени с достаточной определенностью начала наблюдаться тенденция стандартизации большинства компонент, что означает важнейший этап формирования технологии Грид (архитектура, протоколы, сервисы и др.). С самых общих позиций эта технология характеризуется простым набором критериев:

- координация использования ресурсов при отсутствии централизованного управления этими ресурсами;
- использование стандартных, открытых, универсальных протоколов и интерфейсов;
- обеспечение высококачественного обслуживания пользователей.

В данном пособии в кратком изложении предлагается описание основных элементов технологии Грид, базовые инфраструктурные средства, пользовательские интерфейсы и примеры реализаций, которые получили к настоящему времени достаточно широкое распространение.

Данное пособие предназначено для студентов, аспирантов и будущих пользователей Грид в качестве первого шага при изучении этой технологии. Работа выполнена в рамках проекта EGEE.

2. Концепция Грид

Грид является технологией обеспечения гибкого, безопасного и скоординированного общего доступа к ресурсам. При этом слово «ресурс» понимается в очень широком смысле, т.е. ресурсом может быть аппаратура (жесткие диски, процессоры), а также системное и прикладное ПО (библиотеки, приложения).

В терминологии Грид совокупность людей и организаций, решающих совместно ту или иную общую задачу и предоставляющих друг другу свои ресурсы, называется виртуальной организацией (ВО). Например, виртуальной организацией может быть совокупность всех людей, участвующих в какой-либо научной коллаборации. Виртуальные организации могут различаться по составу, масштабу, времени существования, роду деятельности, целям, отношениям между участниками (доверительные, не доверительные) и т.д. Состав виртуальных организаций может динамически меняться.

Есть два основных критерия, выделяющих Грид-системы среди других систем, обеспечивающих разделяемый доступ к ресурсам:

1. Грид-система координирует разрозненные ресурсы. Ресурсы не имеют общего центра управления, а Грид-система занимается координацией их использования, например, балансировкой нагрузки. Поэтому простая система управления ресурсами кластера не является системой Грид, так как осуществляет централизованное управление всеми узлами данного кластера, имея к ним полный доступ. Грид-системы имеют лишь ограниченный доступ к ресурсам, зависящий от политики того административного домена (организации-владельца), в котором этот ресурс находится.
2. Грид-система строится на базе стандартных и открытых протоколов, сервисов и интерфейсов. Не имея стандартных протоколов, невозможно легко и быстро подключать новые ресурсы в Грид-систему, разрабатывать новые виды сервисов и т.д.

Добавим еще несколько свойств, которыми обычно обладают Грид-системы:

- гибкость, т.е. возможность обеспечения разделяемого доступа потенциально к любым видам ресурсов;
- масштабируемость: работоспособность Грид-системы при значительном увеличении или уменьшении ее состава;
- гибкая и мощная подсистема безопасности: устойчивость к атакам злоумышленников, обеспечение конфиденциальности;
- возможность контроля над ресурсами: применение локальных и глобальных политик и квот;

- гарантии качества обслуживания;
- возможность одновременной, скоординированной работы с несколькими ресурсами.

Хотя сама технология Грид не привязана к определенным ресурсам, наиболее часто реализации Грид-систем обеспечивают работу со следующими типами ресурсов:

- **вычислительные ресурсы** – отдельные компьютеры, кластеры;
- **ресурсы хранения данных** – диски и дисковые массивы, ленты, системы массового хранения данных;
- **сетевые ресурсы**;
- **программное обеспечение** – какое-либо специализированное ПО.

Отметим разницу между технологией Грид и реализациями Грид-систем. Технология Грид включает в себя лишь наиболее общие и универсальные аспекты, одинаковые для любой системы (архитектура, протоколы, интерфейсы, сервисы). Используя эту технологию и наполняя ее конкретным содержанием, можно реализовать ту или иную Грид-систему, предназначенную для решения того или иного класса прикладных задач.

Не следует смешивать технологию Грид с технологией параллельных вычислений. В рамках конкретной Грид-системы, конечно, возможно организовать параллельные вычисления с использованием существующих технологий (PVM, MPI), поскольку Грид-систему можно рассматривать как некий мета-компьютер, имеющий множество вычислительных узлов. Однако технология Грид не является технологией параллельных вычислений, в ее задачи входит лишь координация использования ресурсов.

3. Архитектура Грид

Архитектура Грид определяет системные компоненты, цели и функции этих компонент и отражает способы взаимодействия компонент друг с другом. Архитектура Грид представляет собой архитектуру взаимодействующих протоколов, сервисов и интерфейсов, определяющих базовые механизмы, посредством которых пользователи устанавливают соединения с Грид-системой, совместно используют вычислительные ресурсы для решения различного рода задач. Архитектура протоколов Грид разделена на уровни (рис. 1), компоненты каждого из них могут использовать возможности компонент любого из нижерасположенных уровней. В целом эта архитектура задает требования для основных компонент технологии (протоколов, сервисов, прикладных интерфейсов и средств разработки ПО), не предоставляя строгий набор спецификаций, оставляя возможность их развития в рамках принятой концепции.



Рис. 1. Уровни архитектуры протоколов Грид и их соответствие уровням архитектуры протоколов Интернет

3.1. Базовый уровень

Базовый уровень (Fabric Layer) описывает службы, непосредственно работающие с ресурсами. Ресурс является одним из основных понятий архитектуры Грид. Ресурсы могут быть весьма разнообразными, однако, как уже упоминалось, можно выделить несколько основных типов (рис. 2):

- вычислительные ресурсы;
- ресурсы хранения данных;
- информационные ресурсы, каталоги;
- сетевые ресурсы.

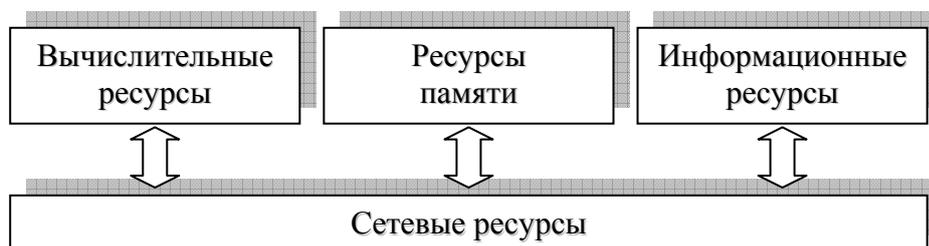


Рис. 2. Ресурсы Грид

Вычислительные ресурсы предоставляют пользователю Грид-системы (точнее говоря, задаче пользователя) процессорные мощности. Вычислительными ресурсами могут быть как кластеры, так и отдельные рабочие станции. При всем разнообразии архитектур любая вычислительная система может рассматриваться как потенциальный

вычислительный ресурс Грид-системы. Необходимым условием для этого является наличие специального программного обеспечения, называемого ПО промежуточного уровня (middleware), реализующего стандартный внешний интерфейс с ресурсом и позволяющего сделать ресурс доступным для Грид-системы. Основной характеристикой вычислительного ресурса является производительность.

Ресурсы памяти представляют собой пространство для хранения данных. Для доступа к ресурсам памяти также используется программное обеспечение промежуточного уровня, реализующее унифицированный интерфейс управления и передачи данных. Как и в случае вычислительных ресурсов, физическая архитектура ресурса памяти не принципиальна для Грид-системы, будь то жесткий диск на рабочей станции или система массового хранения данных на сотни терабайт. Основной характеристикой ресурса памяти является его объем.

Информационные ресурсы и каталоги являются особым видом ресурсов памяти. Они служат для хранения и предоставления метаданных и информации о других ресурсах Грид-системы. Информационные ресурсы позволяют структурированно хранить огромный объем информации о текущем состоянии Грид-системы и эффективно выполнять задачи поиска.

Сетевой ресурс является связующим звеном между распределенными ресурсами Грид-системы. Основной характеристикой сетевого ресурса является скорость передачи данных. Географически распределенные системы на основе рассматриваемой технологии способны объединять тысячи ресурсов разного типа, независимо от их географического положения.

3.2. Уровень связи

Уровень связи (Connectivity Layer) определяет коммуникационные протоколы и протоколы аутентификации.

Коммуникационные протоколы обеспечивают обмен данными между компонентами базового уровня.

Протоколы аутентификации, основываясь на коммуникационных протоколах, предоставляют криптографические механизмы для идентификации и проверки подлинности пользователей и ресурсов.

Протоколы уровня связи должны обеспечивать надежный транспорт и маршрутизацию сообщений, а также присвоение имен объектам сети. Несмотря на существующие альтернативы, сейчас протоколы уровня связи в Грид-системах предполагают использование только стека протоколов TCP/IP, в частности: на сетевом уровне – IP и ICMP, транспортном уровне – TCP, UDP, на прикладном уровне – HTTP, FTP, DNS, RSVP. Учитывая бурное развитие сетевых технологий, в будущем уровень связи, возможно, будет зависеть и от других протоколов.

Для обеспечения надежного транспорта сообщений в Грид-системе должны использоваться решения, предусматривающие гибкий подход к

безопасности коммуникаций (возможность контроля над уровнем защиты, ограничение делегирования прав, поддержка надежных транспортных протоколов). В настоящее время эти решения основываются как на существующих стандартах безопасности, изначально разработанных для Интернет (SSL, TLS), так и на новых разработках.

3.3. Ресурсный уровень

Ресурсный уровень (Resource Layer) построен над протоколами коммуникации и аутентификации уровня связи архитектуры Грид. Ресурсный уровень реализует протоколы, обеспечивающие выполнение следующих функций:

- согласование политик безопасности использования ресурса;
- процедура инициации ресурса;
- мониторинг состояния ресурса;
- контроль над ресурсом;
- учет использования ресурса.

Протоколы этого уровня опираются на функции базового уровня для доступа и контроля над локальными ресурсами. На ресурсном уровне протоколы взаимодействуют с ресурсами, используя унифицированный интерфейс и не различая архитектурные особенности конкретного ресурса.

Различают два основных класса протоколов ресурсного уровня:

1. **информационные протоколы**, которые получают информацию о структуре и состоянии ресурса, например, о его конфигурации, текущей загрузке, политике использования;
2. **протоколы управления**, которые используются для согласования доступа к разделяемым ресурсам, определяя требования и допустимые действия по отношению к ресурсу (например, поддержка резервирования, возможность создания процессов, доступ к данным). Протоколы управления должны проверять соответствие запрашиваемых действий политике разделения ресурса, включая учет и возможную оплату. Они могут поддерживать функции мониторинга статуса и управления операциями.

Список требований к функциональности протоколов ресурсного уровня близок к списку для базового уровня архитектуры Грид. Добавилось лишь требование единой семантики для различных операций с поддержкой системы оповещения об ошибках.

3.4. Коллективный уровень

Коллективный уровень (Collective Layer) отвечает за глобальную интеграцию различных наборов ресурсов, в отличие от ресурсного уровня, сфокусированного на работе с отдельно взятыми ресурсами. В коллективном уровне различают общие и специфические (для приложений) протоколы. К общим протоколам относятся, в первую очередь, протоколы обнаружения и выделения ресурсов, системы мониторинга и авторизации сообществ. Специфические протоколы создаются для различных приложений Грид, (например, протокол архивации распределенных данных или протоколы управления задачами сохранения состояния и т.п.).

Компоненты коллективного уровня предлагают огромное разнообразие методов совместного использования ресурсов. Ниже приведены функции и сервисы, реализуемые в протоколах данного уровня:

- сервисы каталогов позволяют виртуальным организациям обнаруживать свободные ресурсы, выполнять запросы по именам и атрибутам ресурсов, таким как тип и загрузка;
- сервисы совместного выделения, планирования и распределения ресурсов обеспечивают выделение одного или более ресурсов для определенной цели, а также планирование выполняемых на ресурсах задач;
- сервисы мониторинга и диагностики отслеживают аварии, атаки и перегрузку.
- сервисы дублирования (репликации) данных координируют использование ресурсов памяти в рамках виртуальных организаций, обеспечивая повышение скорости доступа к данным в соответствии с выбранными метриками, такими как время ответа, надежность, стоимость и т.п.;
- сервисы управления рабочей загрузкой применяются для описания и управления многошаговыми, асинхронными, многокомпонентными заданиями;
- службы авторизации сообществ способствуют улучшению правил доступа к разделяемым ресурсам, а также определяют возможности использования ресурсов сообщества. Подобные службы позволяют формировать политики доступа на основе информации о ресурсах, протоколах управления ресурсами и протоколах безопасности связывающего уровня;
- службы учета и оплаты обеспечивают сбор информации об использовании ресурсов для контроля обращений пользователей;
- сервисы координации поддерживают обмен информацией в потенциально большом сообществе пользователей.

3.5. Прикладной уровень

Прикладной уровень (Application Layer) описывает пользовательские приложения, работающие в среде виртуальной организации. Приложения функционируют, используя сервисы, определенные на нижележащих уровнях. На каждом из уровней имеются определенные протоколы, обеспечивающие доступ к необходимым службам, а также прикладные программные интерфейсы (Application Programming Interface – API), соответствующие данным протоколам.

Для облегчения работы с прикладными программными интерфейсами пользователям предоставляются наборы инструментальных средств для разработки программного обеспечения (Software Development Kit – SDK). Наборы инструментальных средств высокого уровня могут обеспечивать функциональность с одновременным использованием нескольких протоколов, а также комбинировать операции протоколов с дополнительными вызовами прикладных программных интерфейсов нижнего уровня.

Обратим внимание, что приложения на практике могут вызываться через достаточно сложные оболочки и библиотеки. Эти оболочки сами могут определять протоколы, сервисы и прикладные программные интерфейсы, однако подобные надстройки не относятся к фундаментальным протоколам и сервисам, необходимым для построения Грид-систем.

4. Понятие о виртуальной организации

Инфраструктура Грид основана на предоставлении ресурсов в общее пользование, с одной стороны, и на использовании публично доступных ресурсов, с другой. В этом плане ключевое понятие инфраструктуры Грид – виртуальная организация, в которой кооперируются как потребители, так и владельцы ресурсов. Мотивы кооперации могут быть разными. В существующих Грид-системах виртуальная организация представляет собой объединение (коллаборацию) специалистов из некоторой прикладной области, которые объединяются для достижения общей цели.

Любая ВО располагает определенным количеством ресурсов, которые предоставлены зарегистрированными в ней владельцами (некоторые ресурсы могут одновременно принадлежать нескольким ВО). Каждая ВО самостоятельно устанавливает правила работы для своих участников, исходя из соблюдения баланса между потребностями пользователей и наличным объемом ресурсов, поэтому пользователь должен обосновать свое желание работать с Грид-системой и получить согласие управляющих органов ВО.

Грид-система является средой коллективного компьютеринга, в которой каждый ресурс имеет владельца, а доступ к ресурсам открыт в разделяемом по времени и по пространству режиме множеству входящих в ВО

пользователей. Виртуальная организация может образовываться динамически и иметь ограниченное время существования.

Таким образом, можно определить Грид-систему как пространственно распределенную операционную среду с гибким, безопасным и скоординированным разделением ресурсов для выполнения приложений в рамках определенных виртуальных организаций.

К настоящему времени существует множество ВО, входящих в различные Грид-системы. Примерами ВО, действующих в рамках проекта LCG-2 (Грид для обработки данных с ускорителя LHC, строящегося в CERN), являются ВО экспериментов, которые планируется проводить на этом ускорителе: ATLAS, CMS, Alice, LHCb.

5. О распределении ресурсов в Грид

Эффективное распределение ресурсов и их координация являются основными задачами системы Грид, и для их решения используется планировщик (брокер ресурсов). Пользуясь информацией о состоянии Грид-системы, планировщик определяет наиболее подходящие ресурсы для каждой конкретной задачи и резервирует их для ее выполнения. Во время выполнения задача может запросить у планировщика дополнительные ресурсы или освободить избыточные. После завершения задачи все отведенные для нее вычислительные ресурсы освобождаются, а ресурсы памяти могут быть использованы для хранения результатов работы.

Важным свойством систем Грид является то, что пользователю не нужно знать о физическом расположении ресурсов, отведенных его задаче. Вся работа по управлению, перераспределению и оптимизации использования ресурсов ложится на планировщик и выполняется незаметно для пользователя. Для пользователя создается иллюзия работы в едином информационном пространстве, обладающем огромными вычислительными мощностями и объемом памяти.

Грид является наиболее сложной информационной средой, когда-либо создаваемой человеком. Для системы такой сложности очень важна проблема обеспечения надежного функционирования и восстановления при сбоях. Человек не способен уследить за состоянием тысяч различных ресурсов, входящих в Грид-систему, и по этой причине задача контроля над ошибками возлагается на систему мониторинга, которая следит за состоянием отдельных ресурсов. Данные о состоянии заносятся в информационные ресурсы, откуда они могут быть прочитаны планировщиком и другими сервисами, что позволяет иметь постоянно обновляющуюся достоверную информацию о состоянии ресурсов.

В Грид-системах используется сложная система обнаружения и классификации ошибок. Если ошибка произошла по вине задачи, то задача будет остановлена, а соответствующая диагностика направлена ее владельцу (пользователю). Если причиной сбоя послужил ресурс, то планировщик

произведет перераспределение ресурсов для данной задачи и перезапустит ее.

Сбои ресурсов являются не единственной причиной отказов в Грид-системах. Из-за огромного количества задач и постоянно меняющейся сложной конфигурации системы важно своевременно определять перегруженные и свободные ресурсы, производя перераспределение нагрузки между ними. Перегруженный сетевой ресурс может стать причиной отказа значительного количества других ресурсов. Планировщик, используя систему мониторинга, постоянно следит за состоянием ресурсов и автоматически принимает необходимые меры для предотвращения перегрузок и простоя ресурсов.

В распределенной среде, какой является Грид-система, жизненно важным свойством является отсутствие так называемой единственной точки сбоя. Это означает, что отказ любого ресурса не должен приводить к сбою в работе всей системы. Именно поэтому планировщик, система мониторинга и другие сервисы Грид-системы распределены и продублированы. Несмотря на всю сложность, архитектура Грид разрабатывалась с целью обеспечить максимальное качество сервиса для пользователей. В Грид-системах используются современные технологии передачи данных, обеспечения безопасности и отказоустойчивости.

6. Инструментальные средства Грид (Globus Toolkit)

В этом разделе будет рассмотрен набор инструментальных средств, используемых при реализации проектов Грид и разработанных в рамках проекта Глобус (Globus Project).

Эти инструментальные средства образуют набор программных средств Globus Toolkit и позволяют построить полнофункциональную Грид-систему. Средства Globus Toolkit представляют собой совокупность программных компонент, реализующих необходимые части архитектуры.

Globus Toolkit состоит из следующих основных компонент:

- **GRAM (Globus Resource Allocation Manager)**, ответственный за создание/удаление процессов. Этот компонент Globus Toolkit устанавливается на вычислительном узле Грид-системы (узлом может быть как рабочая станция, так и вычислительный кластер). Пользовательские приложения формируют запросы к GRAM на специальном языке RSL (Resource Specification Language).
- **MDS (Monitoring and Discovery Service)** обеспечивает способы представления информации о Грид-системе. Эта информация может быть самой разнообразной и содержать, например, данные о конфигурации или состоянии как всей системы, так и отдельных ее ресурсов (тип ресурса, доступное дисковое пространство, количество процессоров, объем памяти, производительность и прочее). Вся

информация логически организована в виде дерева, и доступ к ней осуществляется по стандартному протоколу LDAP (Lightweight Directory Access Protocol).

- **GSI (Globus Security Infrastructure)** обеспечивает защиту, включающую шифрование данных, а также аутентификацию (проверка подлинности, при которой устанавливается, что пользователь или ресурс действительно является тем, за кого себя выдает) и авторизацию (процедура проверки, при которой устанавливается, что аутентифицированный пользователь или ресурс действительно имеет затребованные права доступа) с использованием цифровых сертификатов X.509.
- **GASS (Global Access to Secondary Storage)** предоставляет возможность хранения массивов данных в распределенном окружении и доступа к этим данным. Определяет различные стратегии размещения данных.
- Библиотеки **globus_io** и **Nexus** используются как прикладными программами так и компонентами Globus Toolkit для сетевого взаимодействия узлов в гетерогенной среде.

Далее более подробно рассмотрены некоторые из этих компонент. Следует отметить, что Globus Toolkit не содержит брокера ресурсов, оставляя задачу его реализации разработчикам, создающим системы Грид на его основе.

6.1. Управление ресурсами

Архитектура средств управления ресурсами (Globus Resource Management Architecture – GRMA) имеет многоуровневую структуру (рис. 3).

Запросы пользовательских приложений выражаются на RSL и передаются брокеру ресурсов, который отвечает за высокоуровневую координацию использования ресурсов (балансировку загрузки) в определенном домене. На основе переданного пользовательским приложением запроса и политики (права доступа, ограничения по использованию ресурсов) ответственного административного домена брокер ресурсов принимает решение о том, на каких вычислительных узлах будет выполняться задача, какой процент вычислительной мощности узла она может использовать и др.

При выборе вычислительного узла брокер ресурсов должен определить, какие узлы доступны в текущий момент, их загрузку, производительность и другие параметры, указанные в RSL-запросе, выбрать наиболее оптимальный вариант (это может оказаться один вычислительный узел или несколько), сгенерировать новый RSL-запрос (ground RSL) и передать его высокоуровневому менеджеру ресурсов (co-allocator). Этот запрос будет содержать уже более конкретные данные, такие, как имена конкретных узлов, требуемое количество памяти и др. Основные функции

высокоуровневого менеджера ресурсов перечислены ниже:

- коллективное выделение ресурсов;
- добавление/удаление ресурсов к ранее выделенным;
- получение информации о состоянии задач;
- передача начальных параметров задачам.

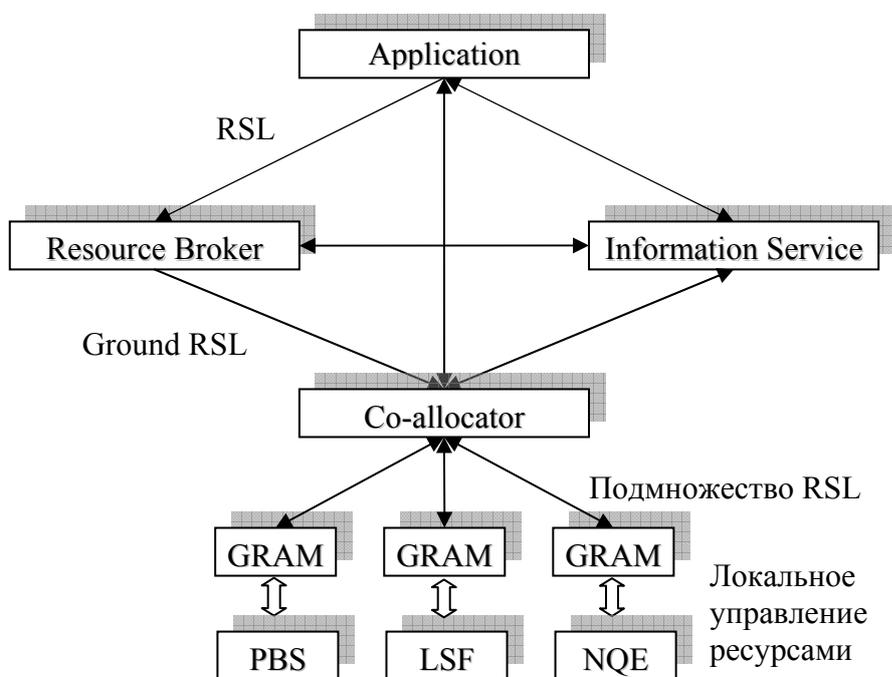


Рис. 3. Архитектура средств управления ресурсами

Высокоуровневый менеджер ресурсов производит декомпозицию запросов ground RSL на множество более простых RSL-запросов и передает эти запросы GRAM. Далее, при отсутствии сообщений об ошибках от GRAM, задача пользователя запускается на исполнение. В случае, если один из GRAM возвращает ошибку, задача либо снимается с выполнения, либо попытка запуска производится повторно.

Менеджер GRAM предоставляет верхним уровням универсальный API для управления ресурсами узла Грид. Сам GRAM взаимодействует с локальными средствами управления ресурсами узла. Узлом может быть, например, рабочая станция или вычислительный кластер.

6.2. Организация доступа к ресурсам

GRAM – достаточно низкоуровневый компонент Globus Toolkit, являющийся интерфейсом между высокоуровневым менеджером ресурсов и локальной системой правления ресурсами узла. В настоящее время этот интерфейс может взаимодействовать со следующими локальными системами управления ресурсами:

- PBS (Portable Batch System) – система управления ресурсами и загрузкой кластеров. Может работать на большом числе различных платформ: Linux, FreeBSD, NetBSD, Digital Unix, Tru64, HP-UX, AIX, IRIX, Solaris. В настоящее время существует свободная и обладающая более широкими возможностями реализация PBS, называемая Torque.
- LSF (Load Sharing Facility) – система, аналогичная PBS. Разработана компанией Platform Computing. Также способна работать на множестве платформ.
- NQE (Network Queuing Environment) – продукт компании Cray Research, использующийся чаще всего как менеджер ресурсов на суперкомпьютерах, кластерах и системах Cray, хотя может работать и на других платформах.
- LoadLeveler – продукт компании IBM, управляющий балансом загрузки крупных кластеров. Используется в основном на кластерах IBM.
- Condor – свободно доступный менеджер ресурсов, разработанный в основном студентами различных университетов Европы и США. Аналогичен вышеперечисленным. Работает на различных платформах UNIX и Windows NT.
- Easy-LL – совместная разработка IBM и Cornell Theory Center, предназначенная для управления крупным кластером IBM в этом центре. По сути является объединением LoadLeveler и продукта EASY лаборатории Argonne National Lab.
- fork – простейшее стандартное средство запуска процессов в UNIX.

Структура GRAM представлена на рис. 4.



Рис. 4. Структура GRAM

Чтобы на данном вычислительном узле можно было удаленно запускать на исполнение программы, на нем должен выполняться специальный процесс называемый Gatekeeper. Gatekeeper работает в привилегированном режиме и выполняет следующие функции:

- производит взаимную аутентификацию с клиентом;
- анализирует RSL запрос;
- отображает клиентский запрос на учетную запись некоторого локального пользователя;
- запускает от имени локального пользователя специальный процесс, называемый Job Manager, и передает ему список требующихся ресурсов.

После того, как Gatekeeper выполнит свою работу, Job Manager запускает задание (процесс или несколько процессов) и производит его дальнейший мониторинг, сообщая клиенту об ошибках и других событиях. Gatekeeper запускает только один Job Manager для каждого пользователя, который управляет всеми заданиями данного пользователя. Когда заданий больше не остается, Job Manager завершает работу.

6.3. Информационный сервис

Все перечисленные компоненты, включая пользовательские приложения, могут использовать информационный сервис (Information Service) для получения всей необходимой информации о состоянии Грид-системы. В Globus Toolkit роль информационного сервиса играет MDS. Этот компонент отвечает за сбор и предоставление конфигурационной информации, информации о состоянии Грид-системы и ее подсистем, а также обеспечивает универсальный интерфейс получения требуемой информации. MDS имеет децентрализованную, легко масштабируемую структуру и работает как со статическими, так и с динамически меняющимися данными, необходимыми пользовательским приложениям и различным сервисам Грид-системы. Иерархическая структура MDS представлена на рис. 5.

MDS состоит из трех основных компонент:

1. IP (Information Provider) – является источником информации о конкретном ресурсе или части ресурса;
2. GRIS (Grid Resource Information Service) – предоставляет информацию об узле Грид-системы, который может быть как вычислительным узлом, так и каким-либо другим ресурсом. GRIS опрашивает индивидуальные IP и объединяет полученную от них информацию в рамках единой информационной схемы;
3. GIIS (Grid Index Information Service) – объединяет информацию из различных GRIS или других GIIS. Для уменьшения времени

реакции на запрос и снижения сетевого трафика GIIS кэширует данные. GIIS верхнего уровня содержит всю информация о состоянии данной системы Грид.

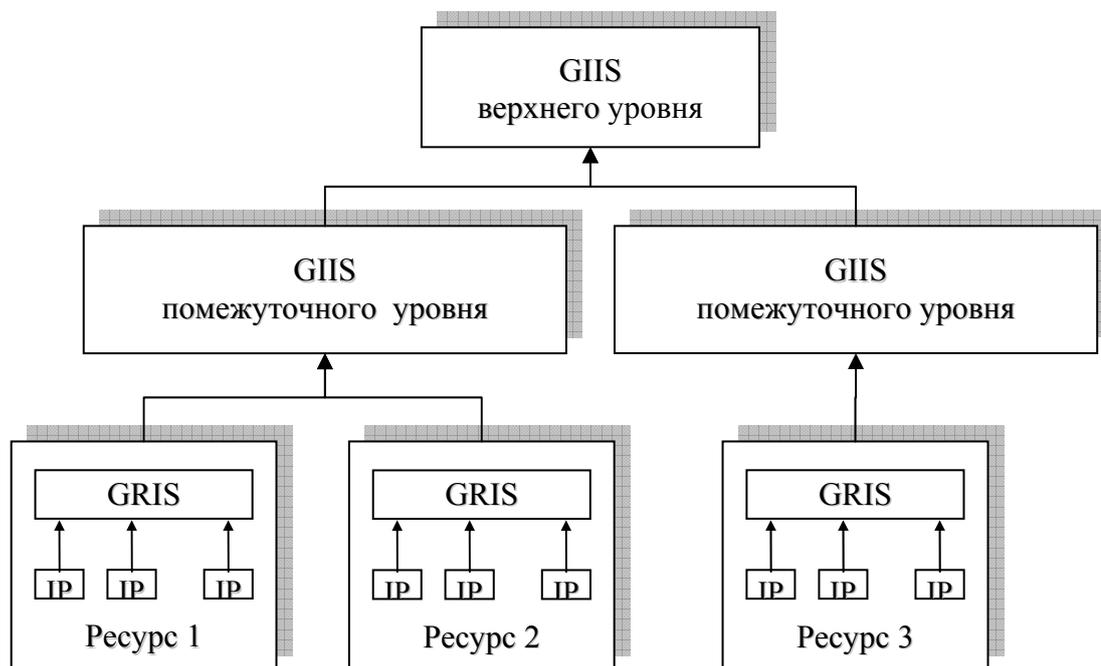


Рис. 5. Иерархическая структура MDS

6.4. Безопасность

Инфраструктура безопасности Грид (Grid Security Infrastructure – GSI) обеспечивает безопасную работу в незащищенных сетях общего доступа (Интернет), предоставляя такие сервисы, как аутентификация, конфиденциальность передачи информации и единый вход в Грид-систему. Под единым входом подразумевается, что пользователю нужно лишь один раз пройти процедуру аутентификации, а далее система сама позаботится о том, чтобы аутентифицировать его на всех ресурсах, которыми он собирается воспользоваться. GSI основана на надежной и широко используемой инфраструктуре криптографии с открытым ключом (Public Key Infrastructure – PKI).

В качестве идентификаторов пользователей и ресурсов в GSI используются цифровые сертификаты X.509. В работе с сертификатами X.509 и в процедуре выдачи/получения сертификатов задействованы три стороны:

1. **Центр Сертификации** (Certificate Authority – CA) – специальная организация, обладающая полномочиями выдавать (подписывать) цифровые сертификаты. Различные CA обычно независимы между собой. Отношения между CA и его клиентами регулируются

специальным документом.

2. **Подписчик** – это человек или ресурс, который пользуется сертификационными услугами СА. СА включает в сертификат данные, предоставляемые подписчиком (имя, организация и пр.) и ставит на нем свою цифровую подпись.
3. **Пользователь** – это человек или ресурс, полагающийся на информацию из сертификата при получении его от подписчика. Пользователи могут принимать или отвергать сертификаты, подписанные какой-либо СА.

В Globus Toolkit используются два типа сертификатов X.509:

1. **Сертификат пользователя (User Certificate)** – этот сертификат должен иметь каждый пользователь, работающий с Грид-системой. Сертификат пользователя содержит информацию об имени пользователя, организации, к которой он принадлежит, и центре сертификации, выдавшем данный сертификат.
2. **Сертификат узла (Host Certificate)** – это сертификат должен иметь каждый узел (ресурс) Грид-системы. Сертификат узла аналогичен сертификату пользователя, но в нем вместо имени пользователя указывается доменное имя конкретного вычислительного узла.

7. Дальнейшее развитие инструментальных средств

Globus Toolkit получил широкое распространение, так как был первым полноценным набором инструментальных средств для разработок в области технологии Грид и стал стандартом де-факто. Однако даже наиболее распространенная вторая версия Globus Toolkit не была лишена недостатков, основным из которых являлось отсутствие унифицированных средств разработки интероперабельных приложений, способных взаимодействовать между собой и предоставлять друг другу различные услуги (сервисы).

Для решения этой проблемы на Global Grid Forum (GGF) была предложена Открытая архитектура сервисов Грид (Open Grid Services Architecture – OGSA). Стандарт OGSA определяет основной набор услуг, которые предоставляют Грид-системы, и описывает их архитектуру. В терминологии OGSA эти услуги называются возможностями. Примерами таких возможностей являются запуск приложений, доступ к данным и др. В OGSA Грид-система рассматривается как набор независимых друг от друга услуг, которые могут использоваться независимо или совместно для построения требуемой инфраструктуры.

Стандарт OGSA предлагает конструировать Грид-системы по принципу сервис-ориентированной архитектуры (Service-Oriented Architecture – SOA), определяющей метод построения программных систем в виде набора независимых или слабо связанных сервисов. Предполагается, что каждый

сервис выполняет свою строго определенную функцию и имеет жесткую семантику. Сервисы допускают множество реализаций, но имеют стандартный, строго специфицированный интерфейс, через который могут взаимодействовать как друг с другом, так и с приложениями Грид. Таким образом в OGSA Грид-система представляется как набор сервисов, реализующих различные услуги. Одни и те же сервисы могут участвовать в реализации разных услуг.

Уровни архитектуры OGSA представлены на рис. 6.

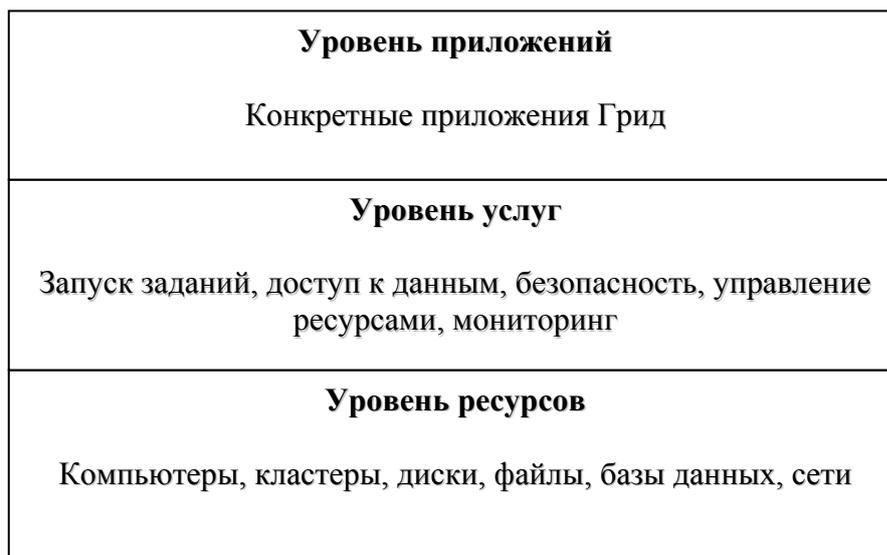


Рис. 6. Трехуровневое представление Грид в OGSA

- Нижний уровень представлен ресурсами, которые могут входить в Грид-систему.
- Средний уровень представляет собой услуги. На этом уровне осуществляется обобщение (виртуализация) ресурсов. Пользователю предоставляются высокоуровневые услуги с четко определенными интерфейсами. Строгая спецификация этого уровня и есть основная задача OGSA.
- Верхний уровень представляет приложения, использующие услуги для выполнения тех или иных задач. Этот уровень в OGSA не специфицирован.

Большая часть деталей, связанных с конкретной реализацией сервисов, в OGSA не оговаривается. Вместо этого OGSA опирается на семейство технологий веб-сервисов (Web-services), которые появились относительно недавно и в настоящий момент очень бурно развиваются. Архитектура OGSA сосредотачивается на определении услуг в виде набора взаимодействующих сервисов.

Архитектура OGSA разрабатывалась с учетом некоторых ключевых требований, полученных путем тщательного анализа всевозможных сценариев использования Грид-систем. Этими требованиями являются:

- **Интероперабельность.** Большинство Грид-систем являются распределенными и гетерогенными, т.е. могут включать в себя огромное разнообразие платформ, операционных систем и сетей. Для эффективной работы в таких условиях Грид-система должна отвечать следующему набору требований:
 - *Виртуализация ресурсов* (представление ресурсов в обобщенной форме, позволяющее абстрагироваться от принципиальных различий ресурсов, выполняющих одну и ту же функцию).
 - *Общие способы управления* (обобщенные механизмы управления разнородными ресурсами для упрощения администрирования Грид-систем).
 - *Обнаружение ресурсов* (механизмы обеспечения поиска ресурсов с необходимыми свойствами в гетерогенном окружении).
 - *Стандартные протоколы* (стандартизация протоколов для построения гетерогенной интероперабельной системы).
- **Разделяемый доступ.** Грид-система должна позволять организовывать разделяемый доступ к ресурсам, принадлежащим разным организациям. При этом над передаваемыми в общее пользование ресурсами должен обеспечиваться очень гибкий контроль.
- **Безопасность.** Это один из важнейших аспектов, включающий следующие основные требования:
 - *Аутентификация и авторизация* (Грид-система должна учитывать как политики административных доменов по предоставлению ресурсов, так и политики сообществ (виртуальных организаций), использующих эти ресурсы).
 - *Интеграция с системами безопасности* (разные административные домены могут использовать разные модели и системы обеспечения безопасности, при этом Грид-системы должны взаимодействовать с ними и обеспечивать их интеграцию).
 - *Делегирование прав* (механизмы делегирования прав пользователя, позволяющие избегать многократной аутентификации (ввода пароля), поскольку в Грид-системах для выполнения запроса может потребоваться доступ ко множеству ресурсов, находящихся в различных административных доменах).
- **Запуск заданий.** Возможность запуска заданий на удаленных вычислителях. При этом предъявляются следующие требования:

- *Поддержка разных типов заданий* (Грид-система должна поддерживать широкий спектр возможных заданий, таких как параллельные задания или задания, включающие в себя длинную цепочку действий).
 - *Управление заданиями* (средства управления и мониторинга заданий в течение всего времени их выполнения).
 - *Диспетчеризация* (задания должны автоматически направляться на подходящие вычислительные ресурсы с учетом определенных требований, таких как тип ОС, наличие тех или иных библиотек, количество одновременно доступных вычислителей и т.п.).
 - *Обеспечение ресурсами* (средства для автоматического выделения нужных заданию ресурсов и подготовки к их использованию).
- **Манипуляция данными.** Грид-системы должны обеспечивать эффективные методы работы с огромным количеством данных. При этом сами данные могут представлять из себя как файлы, так и распределенные базы данных. Требуется выполнение следующих условий:
- *Целостность данных* (механизмы кэширования и репликации, не приводящие к получению устаревших (неактуальных) данных).
 - *Интеграция данных* (механизмы для обеспечения одновременной работы с несколькими источниками данных).
 - *Поиск данных* (механизмы эффективного поиска данных в Грид-системе).
- **Гарантии качества обслуживания.** Грид-система должна обеспечивать гарантированное качество обслуживания для приложений с выполнением таких условий, как минимально допустимая пропускная способность сети, гарантированная производительность вычислителя, гарантированный уровень безопасности и т.д. При этом могут выдвигаться следующие дополнительные требования:
- *Соглашение о качестве обслуживания* (механизмы достижения договоренности о качестве обслуживания между пользователями и сервисами Грид, позволяющие правильно планировать использование ресурсов).
 - *Миграция* (возможность миграции выполняющихся приложений с одних ресурсов на другие в случае необходимости для обеспечения требуемого качества обслуживания).
- **Оптимизация выделения ресурсов.** Грид-системы должны уметь эффективно использовать имеющиеся ресурсы и уметь оптимизировать их выделение. Неприемлемо дорогим в

большинстве случаев является выделение с предположением о том, что ресурс будет использоваться на все сто процентов, что нужно производить резервное копирование всех данных, что время использования ресурса будет максимальным и т.д. Вместо этого должны быть использованы более гибкие механизмы, например, выделение ресурсов на небольшие интервалы времени с последующим пересмотром параметров выделения.

- **Снижение стоимости поддержки.** Администрирование больших гетерогенных систем является очень трудоемкой и дорогостоящей задачей. Грид-системы должны облегчать этот процесс, автоматизируя многие задачи и позволяя эффективно производить администрирование и поддержку разнородных ресурсов, что делает необходимым наличие механизмов автоматического обнаружения возможных проблем и оповещения о них.
- **Надежность.** Грид-системы должны обеспечивать высокую надежность и защиту от сбоев. При этом может понадобиться использование запасных ресурсов, резервное копирование данных, мониторинг ресурсов, автоматическое восстановление от сбоев. Для заданий, работающих длительное время, могут потребоваться механизмы восстановления, например, с использованием контрольных точек.
- **Простота использования и расширяемость.** Работа пользователей в Грид-системе должна быть как можно более простой. Требуется поддержка различных уровней работы – от простейших (с минимальной гибкостью) до сложных, требующих от пользователей специальных знаний и навыков. Так как области применения Грид-систем могут изменяться, архитектура Грид должна учитывать возможное расширение спектра применения и появление новых требований.
- **Масштабируемость.** Архитектура Грид не должна иметь узких мест, препятствующих масштабируемости Грид-систем.

Для реализации основных аспектов архитектуры OGSA была выпущена четвертая (последняя на данный момент) версия Globus Toolkit, однако широкого распространения она не получила. Причиной этого является чрезвычайная громоздкость существующих реализаций инфраструктуры веб-сервисов, огромные требования к объему оперативной памяти и низкая производительность. Несмотря на это, данный подход остается весьма перспективным направлением развития Грид-систем, требующим лишь высокоэффективной реализации.

8. Программное обеспечение LCG

Для построения полностью функциональной Грид-системы необходимо программное обеспечение промежуточного уровня, построенное на базе существующих инструментальных средств и предоставляющее высокоуровневые сервисы задачам и пользователям.

Примером такого программного обеспечения может служить ПО LCG (LHC Computing Grid), разрабатываемое в Европейском центре ядерных исследований (CERN). Изначально целью проекта LCG была разработка полностью функционирующей Грид-системы на базе Globus Toolkit для обработки данных в физике высоких энергий. Со временем область применения LCG расширилась, и в настоящее время это – один из самых распространенных и быстро развивающихся пакетов ПО Грид.

Пакет LCG состоит из нескольких частей, называемых элементами. Каждый элемент является самостоятельным набором программ (одни и те же программы могут входить в несколько элементов), реализующих некоторый сервис, и предназначен для установки на компьютер под управлением ОС Scientific Linux.

Ниже перечислены основные элементы LCG и их назначение:

- **CE (Computing Element)** – набор программ, предназначенный для установки на управляющий узел вычислительного кластера. Данный элемент предоставляет универсальный интерфейс к системе управления ресурсами кластера и позволяет запускать на кластере вычислительные задания;
- **SE (Storage Element)** – набор программ, предназначенный для установки на узел хранения данных. Данный элемент предоставляет универсальный интерфейс к системе хранения данных и позволяет управлять данными (файлами) в Грид-системе;
- **WN (Worker Node)** – набор программ, предназначенный для установки на каждый вычислительный узел кластера. Данный элемент предоставляет стандартные функции и библиотеки LCG задачам, выполняющимся на данном вычислительном узле;
- **UI (User Interface)** – набор программ, реализующих пользовательский интерфейс Грид-системы (интерфейс командной строки). В этот элемент входят стандартные команды управления задачами и данными, некоторые из которых рассмотрены в следующей главе;
- **RB (Resource Broker)** – набор программ, реализующих систему управления загрузкой (брокер ресурсов). Это наиболее сложный (и объемный) элемент LCG, предоставляющий все необходимые функции для скоординированного автоматического управления заданиями в Грид-системе;
- **PX (Proxy)** – набор программ, реализующих сервис автоматического обновления сертификатов (мургоху);

- **LFC (Local File Catalog)** – набор программ, реализующих файловый каталог Грид-системы. Файловый каталог необходим для хранения информации о копиях (репликах) файлов, а также для поиска ресурсов, содержащих требуемые данные;
- **BDII (Information Index)** – набор программ, реализующих информационный индекс Грид-системы. Информационный индекс содержит всю информацию о текущем состоянии ресурсов, получаемую из информационных сервисов, и необходим для поиска ресурсов;
- **MON (Monitor)** – набор программ для мониторинга вычислительного кластера. Данный элемент собирает и сохраняет в базе данных информацию о состоянии и использовании ресурсов кластера.
- **VOMS (VO Management Service)** – набор программ, реализующих каталог виртуальных организаций. Данный каталог необходим для управления доступом пользователей к ресурсам Грид-системы на основе членства в виртуальных организациях.

На один компьютер возможна установка сразу нескольких элементов LCG, если это позволяют его мощности (объем памяти и производительность). Минимальное количество узлов, необходимых для развертывания полного набора ПО LCG, равно трем. Следует заметить, что установка всех сервисов на один узел, хотя и возможна технически, но настоятельно не рекомендуется. Брокер ресурсов, по соображениям безопасности, следует расположить на отдельном узле. Вычислительные узлы также следует выделить отдельно, так как нагрузка, создаваемая на них работающими заданиями, приведет к дефициту ресурсов для остальных сервисов. Все остальные элементы могут быть установлены совместно.

В основе ПО LCG лежат разработки, выполненные в рамках европейского проекта EDG (European DataGrid) несколько лет назад. Сейчас проект LCG активно развивается и стоит на пороге перехода к новой, более функциональной инфраструктуре программного обеспечения, носящей название gLite. Данный переход подразумевает постепенную замену устаревших программ новыми с сохранением совместимости.

Важно отметить, что все программное обеспечение, разрабатываемое в рамках проекта LCG, может свободно использоваться. На основе этого программного обеспечения возможно создание национальных и региональных Грид-систем для эффективного распределения локальных ресурсов. LCG является технологической базой для инфраструктуры, реализуемой в рамках проекта EGEE.

9. Пользователь в Грид

Система входа пользователя в Грид-систему достаточно сложна. Это определено многими факторами, но главной проблемой является решение

вопросов безопасности (угрозы вторжений и атак злоумышленников). Аутентификация и авторизация пользователей являются путями для решения этой проблемы. Аутентификационные решения для сред виртуальных организаций должны обладать следующими свойствами:

- **Единый вход.** Пользователь должен регистрироваться и аутентифицироваться только один раз в начале сеанса работы, получая доступ ко всем разрешенным ресурсам базового уровня архитектуры Грид.
- **Делегирование прав.** Пользователь должен иметь возможность запуска программ от своего имени. Таким образом, программы получают доступ ко всем ресурсам, на которых авторизован пользователь. Пользовательские программы могут, при необходимости, делегировать часть своих прав другим программам.
- **Доверительное отношение к пользователю.** Если пользователь запросил одновременную работу с ресурсами нескольких поставщиков, то при конфигурации защищенной среды пользователя система безопасности не должна требовать взаимодействия поставщиков ресурсов друг с другом.

Для входа в Грид-систему пользователь должен:

1. быть легальным пользователем вычислительных ресурсов в своей организации;
2. иметь персональный цифровой сертификат, подписанный центром сертификации;
3. быть зарегистрированным хотя бы в одной виртуальной организации.

Получение цифрового сертификата является важным и необходимым шагом для получения доступа к Грид-системе. Цифровой сертификат аналогичен паспорту и однозначно идентифицирует пользователя. Для получения цифрового сертификата пользователю необходимо обратиться в Центр сертификации. Обычно центры сертификации существуют либо в рамках организаций, участвующих в каких-либо проектах Грид (например, CERN или INFN), либо в рамках целой федерации (Россия). Российский Центр сертификации в настоящий момент находится в научном центре «Курчатовский институт» (ca.grid.kiae.ru/RDIG/).

Подробную инструкцию по получению цифрового сертификата можно получить непосредственно в Центре сертификации, а здесь укажем лишь основные шаги при выполнении этой инструкции:

- создание на компьютере пользователя (на пользовательском интерфейсе) двух файлов – закрытого ключа и запроса на сертификат;
- отсылка запроса на сертификат в центр сертификации;

- получение из центра сертификации подписанного открытого ключа (требуется проверка личности пользователя).

Закрытый ключ не следует отсылать в Центр сертификации, а необходимо хранить в защищенном месте. Несмотря на то, что закрытый ключ дополнительно защищен паролем, обо всех случаях утери или возможного несанкционированного доступа к закрытому ключу необходимо немедленно сообщать в Центр сертификации.

После получения цифрового сертификата пользователю необходимо зарегистрироваться в виртуальной организации. В зависимости от области работы пользователя это может быть международная, национальная или локальная виртуальная организация. Правила регистрации в виртуальной организации необходимо узнать в соответствующем Центре регистрации (не путать с Центром сертификации). Возможно регистрация одного и того же пользователя (сертификата) в нескольких виртуальных организациях.

Доступ к Грид-системе может быть произведен из любой точки (вычислительной системы, терминала), в которой установлен пользовательский интерфейс системы Грид. Он может быть выполнен различными способами (командная строка, веб-интерфейс), однако должен предоставлять пользователю возможность полноценно работать с Грид-системой, т.е. запускать новые задания, управлять уже запущенными и получать результаты работы завершившихся заданий. Наиболее стандартным является интерфейс командной строки (Command Line Interface – CLI), позволяющий выполнять все операции по управлению заданиями и данными, а также административные действия. Серьезные минусы этого интерфейса – его «недружественность» к пользователю и отсутствие ориентации на конкретное приложение. Пользователю намного удобнее работать со средой, ориентированной на решаемую им задачу и предоставляющую удобный графический интерфейс. Эту задачу решают Веб-интерфейсы, позволяющие работать с Грид-системой прямо из браузера.

9.1. Использование интерфейса командной строки

В этом разделе будут рассмотрены основные шаги при использовании интерфейса командной строки LCG. Данный перечень команд не претендует на полноту, однако он позволяет выполнять все основные операции по работе с задачами и данными в Грид-системе.

Перед началом работы с LCG пользователю необходимо создать так называемый прокси-сертификат. Данный сертификат ограничен по времени (по умолчанию 12 часами) и передается в Грид-систему вместе с задачей. Этот сертификат позволяет задаче выполнять операции от имени пользователя, запустившего ее (авторизация, работа с данными, запуск подзадач и т.д.):

grid-proxy-init

Для получения информации о прокси-сертификате можно воспользоваться следующей командой:

```
grid-proxy-info -all
```

Одним из важных ограничений прокси-сертификата является то, что задача, запущенная с данным прокси-сертификатом, не может выполняться дольше, чем время жизни этого сертификата. Данное ограничение введено из соображений безопасности. Если пользователю необходимо запустить задачу на длительное время, но точно предсказать это время в момент запуска задания не представляется возможным, то прокси-сертификат можно зарегистрировать на сервере автоматического обновления сертификатов (мурпроху).

Регистрации прокси-сертификата на сервере:

```
мурпроху-init -s <сервер> -t <время регистрации>
```

Получение автоматически обновленного прокси-сертификата:

```
мурпроху-get-delegation -s <сервер>
```

Получение информации о зарегистрированном прокси-сертификате:

```
мурпроху-info -s <сервер>
```

Отмена регистрации:

```
мурпроху-destroy -s <сервер>
```

После проведения всех подготовительных операций с прокси-сертификатами можно приступить к запуску заданий в Грид-системе. Для описания заданий в среде LCG используется специальный язык JDL (Job Description Language). Типичное описание задания содержит информацию о расположении исполняемого файла задачи, аргументах командной строки, размещении входных и выходных данных и, наконец, информацию о требованиях, предъявляемых к вычислительным ресурсам (минимальный объем памяти, тип процессора и т.д.). Простейший пример задания на языке JDL приведен ниже:

```
Executable = "/bin/echo";  
Arguments = "Hello World";  
StdOutput = "hello.out";  
StdError = "hello.err";
```

```
OutputSandbox = {"hello.out", "hello.err"};
```

Для запуска и управления заданиями в Грид-системе существуют три основные команды:

1. Посылка задачи на выполнение (в качестве аргумента указывается файл с описанием задачи). Данная команда возвращает уникальный идентификатор задания (JobID), который в дальнейшем необходимо использовать для управления этим заданием:

```
edg-job-submit hello.jdl
```

2. Получение информации о текущем состоянии задачи:

```
edg-job-status <JobID>
```

3. Получение результатов выполнения задачи после ее завершения:

```
edg-job-get-output <JobID>
```

Не менее важными являются команды для управления данными. Основная задачи системы управления данными – создание копий данных для быстрого доступа к ним вычислительных ресурсов (репликация) и поддержание каталога этих копий. Существуют четыре основные команды для управления данными в LCG:

1. Копирование файла с локального вычислительного узла на элемент хранения данных и регистрация его в каталоге:

```
lcg-cr <файл>
```

2. Репликация файла с одного элемента хранения данных на другой с регистрацией в каталоге:

```
lcg-rep <файл>
```

3. Удаление файла с элемента хранения данных и удаление соответствующей записи из каталога:

```
lcg-del <файл>
```

4. Копирование файла с элемента хранения данных на локальный вычислительный узел:

```
lcg-sr <файл>
```

Полный набор команд LCG весьма обширен и постоянно расширяется, поэтому не представляется возможным дать его развернутое описание; основные же команды работают со всеми вышедшими версиями LCG и будут поддерживаться в будущем с целью сохранения совместимости.

9.2. Веб-интерфейсы Грид

Примером веб-интерфейса к Грид-системе может служить GENIUS, разработанный в итальянском институте INFN (grid-demo.ct.infn.it). Основными целями при создании Веб-интерфейса GENIUS были:

- ознакомление пользователя с технологией Грид;
- предоставление доступа к сервисам Грид-системы через Интернет;
- простой и удобный графический интерфейс;
- эффективный мониторинг текущего состояния Грид-системы.

Веб-интерфейс GENIUS позволяет выполнять все основные операции по управлению заданиями и данными в Грид-системе, причем все эти действия пользователь может производить прямо из браузера.

В настоящее время GENIUS активно используется в рамках проекта GILDA (Grid Infn Laboratory for Dissemination Activities), являющегося виртуальной лабораторией для демонстрации возможностей технологии Грид. Проект GILDA состоит из нескольких частей:

- **GILDA Testbed** – набор сайтов с установленным ПО LCG.
- **Grid Demonstrator** – веб-интерфейс GENIUS, позволяющий работать с определенным набором приложений.
- **GILDA CA** – центр сертификации, выдающий 14-дневные сертификаты для работы с GILDA.
- **GILDA VO** – виртуальная организация, объединяющая всех пользователей GILDA.
- **Grid Tutor** – веб-интерфейс GENIUS, используемый для демонстрации возможностей технологии Грид.
- **Monitoring System** – система мониторинга для GILDA Testbed.

Пользовательские веб-интерфейсы к Грид-системам являются весьма перспективным направлением, так как могут быть легко адаптированы под конкретную задачу или предметную область и не требуют навыков работы с командной строкой unix. Авторизация пользователей на таких интерфейсах производится также посредством загруженных в браузер цифровых сертификатов.

10. Глобальная инфраструктура Грид для науки

В этом разделе в качестве примера кратко рассмотрена самая крупная в мире инфраструктура Грид, реализованная в рамках проекта EGEE (Enable Grid E-sciencE).

Цель проекта EGEE – объединить уже ведущиеся национальные, региональные и тематические Грид-разработки в единую цельную Грид-инфраструктуру для поддержки научных исследований. Эта инфраструктура предоставляет исследователям, как в академических кругах, так и в разных областях экономики, круглосуточный доступ к высокопроизводительным вычислительным ресурсам независимо от их географического положения. Пользоваться инфраструктурой смогут географически распределенные сообщества исследователей, которые нуждаются в общих для них вычислительных ресурсах, готовы объединить свои собственные вычислительные инфраструктуры и согласны с принципами общего доступа. Проект поддерживают в основном финансирующие учреждения ЕС, но предназначен он для работы во всем мире. Значительные средства поступают от США, России и других участников проекта, не входящих в ЕС.

Четырехлетняя программа проекта EGEE состоит из двух фаз. Первая фаза (с 1 апреля 2004 года по 31 марта 2006 года) уже завершилась. Вторая фаза проекта (EGEE-II) начата 1 апреля 2006 года.

Проект стартовал в исключительно благоприятных условиях: до его формального начала уже были размещены основные сервисы и начаты разработка промежуточного программного обеспечения и распространение информации.

Для отработки начального уровня внедрения развивающейся Грид-инфраструктуры, официальной оценки ее эксплуатационных качеств и функциональности были выбраны две практические области. Одна – обработка данных от экспериментов на ускорителе ЛНС, где Грид-инфраструктура обеспечивает хранение и анализ петабайтов (10^{15} байтов) реальных и смоделированных данных экспериментов по физике высоких энергий, ведущихся в CERN. Другая – биомедицинские Гриды, где несколько коллабораций решают одинаково сложные задачи, например, поиск в геномных базах данных и индексирование больничных баз данных, что составляет несколько терабайтов в год для одной больницы.

К настоящему времени десятки приложений используют эту развивающуюся инфраструктуру для различных областей науки: термоядерный синтез, науки о Земле, астрофизика, геофизика, археология, вычислительная физика. Эта инфраструктура открыта также для промышленных и социоэкономических сообществ. В рамках этой инфраструктуры создано свыше 60 ВО.

В проекте EGEE принимают участие более 90 организаций из 32 стран. Эти организации объединены в региональные Гриды (федерации). В проекте участвуют 13 федераций, в том числе и федерация «Россия». Суммарная

вычислительная мощность этой самой крупной международной Грид-инфраструктуры составляет в настоящий момент свыше 20 тысяч процессоров.

Проект EGEE имеет партнерские отношения с более чем 70 участниками, не входящими в данный проект, в том числе через ряд других проектов Грид (рис. 7).

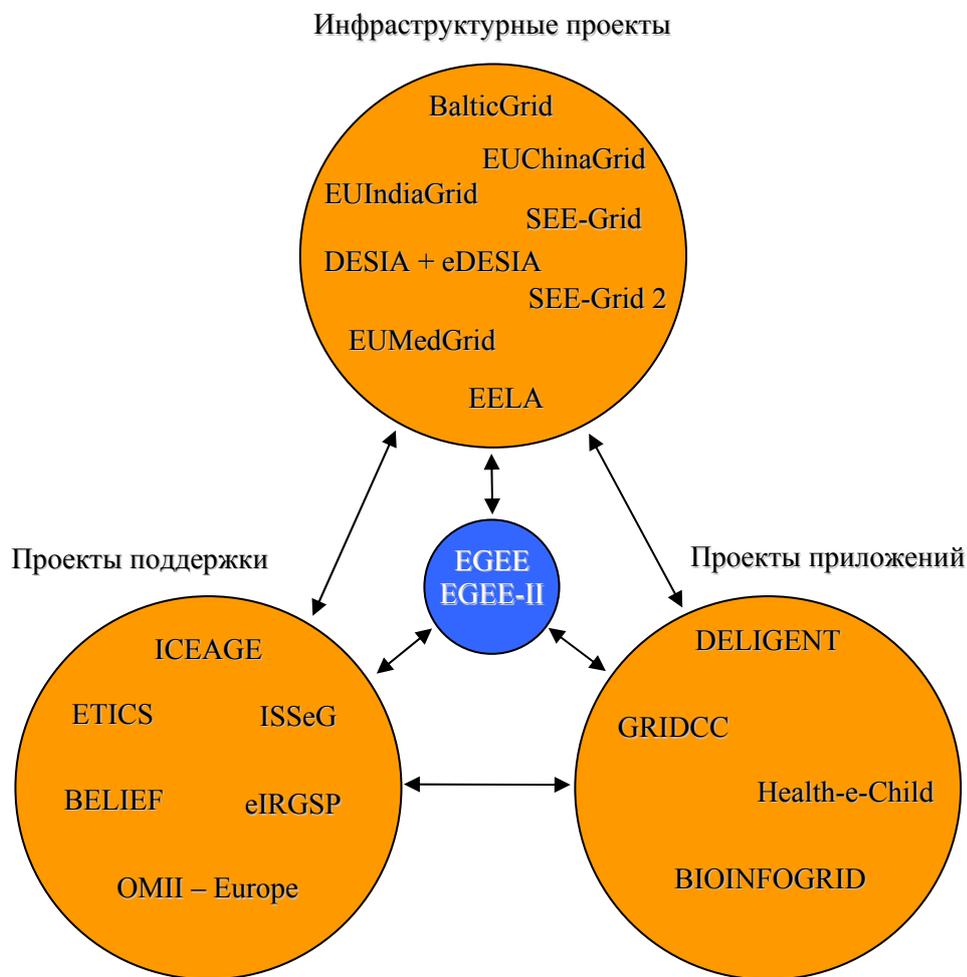


Рис. 7. Партнеры проекта EGEE

В задачи проекта EGEE входит:

- распространение информации о технологии Грид;
- привлечение новых пользователей, обучение;
- поддержка приложений;
- поддержка и обслуживание инфраструктуры Грид и взаимодействие с основными провайдерами;
- разработка и интеграция программного обеспечения промежуточного уровня;
- обеспечение безопасности;
- разработка сетевых сервисов.

Далее рассмотрим несколько подробнее некоторые из задач проекта.

В рамках проекта работает Служба распространения информации и расширения круга пользователей (Dissemination and Outreach Activity). Она держит собранные воедино все главные сведения о проекте вместе со ссылками на соответствующие региональные веб-сайты (см. www.eu-egee.org). Кроме того, ключевые пользовательские группы и группы потенциальных пользователей могут получать сообщения из специализированных списков рассылки информации по электронной почте.

В рамках проекта работает Служба обучения и включения в число пользователей (Training and Induction Activity). Эта служба выпускает комплект учебных материалов и курсов на английском языке. Обучение организовано по региональному принципу, и ключевые материалы могут быть переведены на соответствующий европейский язык.

Служба разработки и интеграции промежуточного программного обеспечения для Гридов (Grid Middleware Engineering and Integration Activity) поддерживает и постоянно совершенствует набор программных средств, благодаря которому Грид-сервисы промышленного уровня доступны основному кругу пользователей. Деятельность, связанная с промежуточными программными средствами EGEE, заключается, главным образом, в их перепроектировании в плане их функциональности. Промежуточное программное обеспечение развивается в направлении сервисно-ориентированной архитектуры, основанной на стандартах, разработанных в рамках веб-сервисов. Центры перепроектирования промежуточного программного обеспечения отвечают за следующие ключевые сервисы: доступ к ресурсам (Италия), организация данных (CERN), поиск и сбор информации (Великобритания), брокерские операции с ресурсами и учет ресурсов (Италия), безопасность (страны Северной Европы). Непосредственное отношение к этой работе имеют группы обеспечения качества и безопасности Гридов (Quality Assurance and Grid Security). Центр интеграции и тестирования промежуточного программного обеспечения (Middleware Integration and Testing Center) находится в CERN.

Группы, обеспечивающие эксплуатацию Гридов, гарантируют высокий уровень Грид-сервисов. Основными качествами, определяющими такой уровень Грид-сервисов, является их управляемость, устойчивость к сбоям и разного рода неисправностям, единый подход к обеспечению безопасности, а также их расширяемость, необходимая для включения в работу новых ресурсов немедленно по мере их появления. Главные задачи этих групп: поддержка базовых сервисов инфраструктуры, мониторинг и контроль Гридов, размещение промежуточного программного обеспечения, подключение ресурсов, поддержка ресурсов и пользователей, общее управление Гридами и международное сотрудничество. Оперативный центр (Operations Management Centre – OMC) в CERN согласовывает работу пяти центров базовой инфраструктуры (Core Infrastructure Centre – CIC), расположенных в CERN, Франции, Италии, России, Великобритании, и восьми региональных оперативных центров (Regional Operation Centre –

ROC), которые, в свою очередь, координируют работу ресурсных центров (Resource Centre – RC). Структура управления инфраструктурой Грид в проекте EGEE представлена на рис. 8.

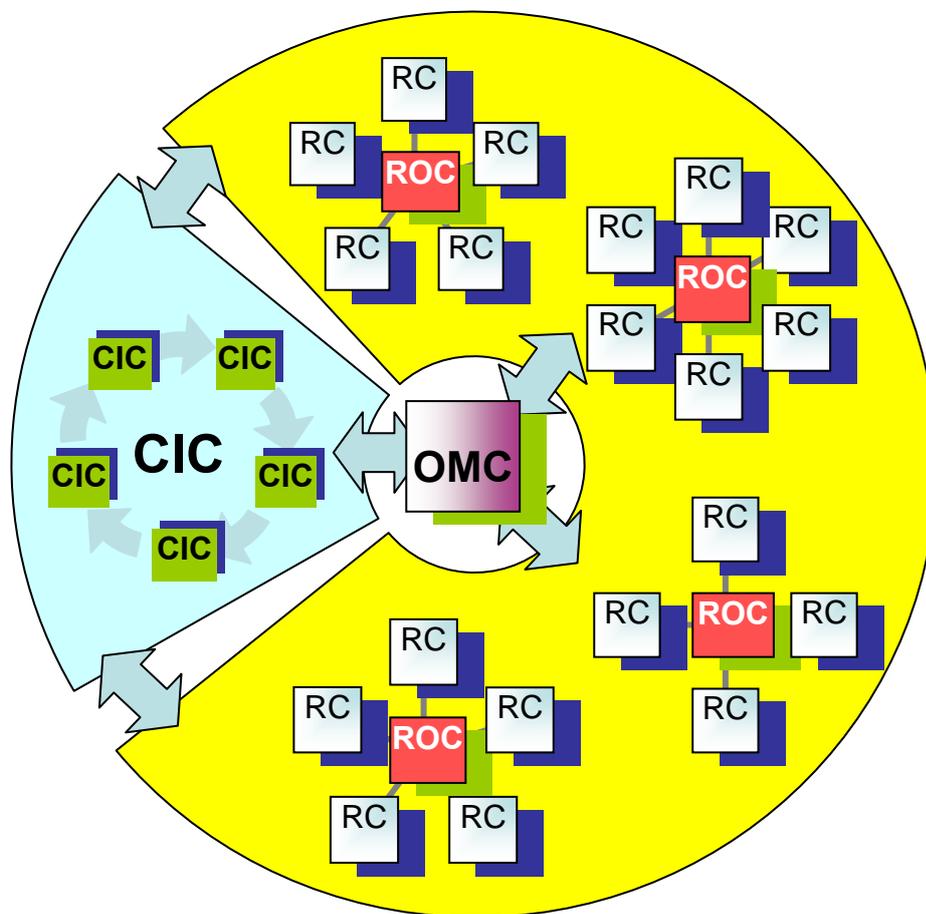


Рис. 8. Структура управления инфраструктурой Грид в проекте EGEE

Работа EGEE для массового пользователя основана на промежуточном программном обеспечении и сервисах проекта LCG (www.cern.ch/lcg).

Для контроля за функционированием этой инфраструктуры разработаны и успешно функционируют различные средства мониторинга (прохождение функциональных тестов, мониторы заданий, состояния сайтов и информационной системы).

Данные мониторинга заданий показывают, что ежедневно на этой Грид-системе выполняются многие тысячи заданий.

В качестве транспортной среды для передачи данных и программы инфраструктуры EGEE использует исследовательскую сеть GEANT и подключенные к ней региональные сети.

Для включения в Грид-инфраструктуру EGEE новых пользователей и научных сообществ действуют Службы приема заявок и поддержки (Application Identification and Support Activity), которые идентифицируют и поддерживают начинающих пользователей из широкого круга академических дисциплин и областей экономики.

11. Россия в проекте EGEE

Для участия России в этом проекте был образован консорциум РДИГ (Российский Грид для интенсивных операций с данными – Russian Data Intensive Grid – RDIG). Консорциум РДИГ, согласно принятой в проекте EGEE структуре, входит в проект в качестве региональной федерации «Россия» («Russia»). Цели РДИГ:

- создание национальной инфраструктуры Грид в интересах научного сообщества с участием организаций из различных областей науки, образования и промышленности;
- пропаганда технологии Грид и обеспечение возможности обучения и подготовки специалистов для использования сервисов Грид в новых научных областях и экономике;
- обеспечение полномасштабного участия России в создании глобальной компьютерной инфраструктуры Грид.

Участники РДИГ (участники проекта EGEE):

- ИФВЭ (Институт физики высоких энергий, Протвино);
- ИМПБ РАН (Институт математических проблем биологии, Пушкино);
- ИТЭФ (Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва);
- ОИЯИ (Объединенный институт ядерных исследований, Дубна);
- ИПМ РАН (Институт прикладной математики, Москва);
- ПИЯФ РАН (Петербургский институт ядерной физики, Гатчина);
- РНЦ «Курчатовский институт» (Москва);
- НИИЯФ МГУ (Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, Москва).

В 2005 году к числу ресурсных центров РДИГ добавились:

- Геофизический центр РАН (Москва);
- Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого (Великий Новгород);
- Институт ядерных исследований РАН (Троицк);
- Санкт-Петербургский государственный университет.

РДИГ является функциональной частью EGEE (CIS, ROC) и осуществляет большинство видов деятельности, определенных этим проектом.

В рамках РДИГ осуществляется централизованная поддержка ряда виртуальных организаций (см. таблицу).

Таблица

Название ВО	Назначение
ATLAS	Эксперимент на ускорителе LHC в CERN
CMS	—«»—
Alice	—«»—
LHC-b	—«»—
eEarth	Проект eEarth – использование технологии Грид в области геофизики
PHOTON	Проект PHOTON и эксперимент SELEX – исследования на сегментированном большом X-барионном спектрометре
AMS	Проект AMS – исследования свойств материи с использованием международной космической станции
Fusion	Проект ITER – исследования в области физики плазмы
Biomed	Исследования по биомедицине
RGStest	Тестирование новых ресурсных центров РДИГ
RDTEAM	Тестирование Грид-инфраструктуры РДИГ
nw_ru	ВО Санкт-Петербургского региона

Виртуальную организацию nw_ru поддерживает ПИЯФ РАН, являющийся участником проекта EGEE в Северо-Западном регионе. В настоящее время в состав ВО nw_ru входят также СПбФ МВЦ РАН, расположенный на площадке ФТИ РАН, СПИИРАН, СПбГУ. Кроме этого, ПИЯФ РАН входит во все ВО экспериментов на ускорителе LHC, активно участвуя в обработке заданий этих экспериментов.

Динамику работы большинства сайтов РДИГ можно посмотреть на сайте gostop.jinr.ru:8080

Много полезной информации о технологии Грид и о проекте EGEE можно посмотреть на сайтах www.egee-rdig.ru и egee.pnpi.nw.ru

Хочется подчеркнуть преимущества, которые получают поставщики вычислительных ресурсов в EGEE (РДИГ):

- **Возможность работы с использованием ресурсов.** EGEE обеспечивает координированную крупномасштабную рабочую среду. Для каждого поставщика ресурсов это выразится в значительном снижении расходов и в то же время в повышении уровня сервиса.
- **Выигрыш от высокого уровня компетентности специалистов,** лежащего в основе инфраструктуры. Обеспечивая участникам доступ к сервисам, EGEE привлекает ведущих специалистов к созданию и поддержке инфраструктуры.
- **Общение с пользователями.** Организация поддержки со стороны EGEE будет допускать возможность адаптации с учетом региональной специфики и предполагать тесные связи с региональными

пользовательскими сообществами.

- **Возможность создания коллабораций между поставщиками ресурсов.** Поставщики ресурсов смогут образовывать коллаборации и открывать новые направления разработки и поддержки, не включенные в настоящую версию проекта. Затраты на исследования и разработки будут в таком случае разделены между участниками.

12. Заключение

Даже из этого краткого введения в технологию можно получить представление о новизне, масштабах и интенсивности внедрения этой технологии в научные, а в последнее время и в индустриальные и экономические направления человеческой деятельности. Любая поисковая система в Интернете на запрос «GRID» выдаст сотни сайтов, представляющих различные аспекты этой технологии, проекты на ее базе, примеры различных приложений и т.д. Все это означает не только масштабы, но и отражает результаты внедрения принципиально нового подхода к организации вычислительного процесса в различных областях науки, техники, экономики.

Отрадно отметить что, несмотря на недостаточность вычислительных ресурсов, РДИГ представляет собой первую реально работающую Грид-инфраструктуру в России, первый проект Грид всероссийского уровня, поддержанный правительством Российской Федерации.

Ряд научных и образовательных учреждений России из различных областей науки проявили заинтересованность в участии в проекте в качестве партнеров. Основными текущими задачами РДИГ и региональных центров Грид являются: расширение инфраструктуры, увеличение мощностей ресурсных центров, поиск задач для решения с использованием технологии Грид, обучение пользователей, привлечение молодых специалистов для развития и использования как системного, так и прикладного уровня этой технологии XXI века.

13. Литература

1. I. Foster, C. Kesselman. *The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure*. – Morgan Kaufmann Publishers, 1998.
2. I. Foster, C. Kesselman, S. Tuecke. *The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations*. – International J. Supercomputer Applications, 15(3), 2001, <http://www.globus.org/research/papers/anatomy.pdf>
3. I. Foster, C. Kesselman, S. Tuecke, J. M. Nick. *The Physiology of the Grid: An Open Grid Services Architecture for Distributed Systems Integration*. – Morgan Kaufmann Publishers, 2002.
4. I. Foster, H. Kishimoto, A. Savva, D. Berry et al. *The Open Grid Services Architecture*. – Global Grid Forum, 2005, <http://www.ggf.org/documents/GFD.30.pdf>
5. I. Foster, D. Gannon, H. Kishimoto et al. *Open Grid Services Architecture Use Cases*. – Global Grid Forum, 2004, <http://www.ggf.org/documents/GFD.29.pdf>
6. J. Treadwell, M. Behrens, D. Berry et al. *Open Grid Services Architecture Glossary of Terms*. – Global Grid Forum, 2005, <http://www.ggf.org/documents/GFD.44.pdf>
7. I. Foster, C. Kesselman. *Globus: A Metacomputing Infrastructure Toolkit*. <ftp://ftp.globus.org/pub/globus/papers/globus.pdf>
8. I. Foster, C. Kesselman. *The Globus Project: A Status Report*. <ftp://ftp.globus.org/pub/globus/papers/globus-hcw98.pdf>
9. Overview of the Grid Security Infrastructure, <http://www.globus.org/security/overview.html>
10. RSL Specification, http://www-fp.globus.org/gram/rsl_spec1.html