УДК 001.89:681.3

О СОЗДАНИИ СИСТЕМЫ КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТАМИ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЯЕМОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА В РОССИИ — РОССИЙСКОЙ FUSION GRID

И.Б. Семенов, В.А. Вознесенский, А.А. Солдатов

В статье обсуждается применение новых информационных технологий для исследований в области управляемого термоядерного синтеза (УТС) в России. Технология Grid-сетей позволит создать в России виртуальное исследовательское сообщество физиков-плазменщиков, математиков, инженеров, интегрированное в виртуальное международное УТС-сообщество. В статье описаны основные элементы Fusion Grid США и рассмотрены вопросы создания российской Fusion Grid.

CREATION OF THE RUSSIAN NATIONAL GRID FOR FUSION RESEARCH — RUSSIAN FUSION GRID. I.B. SEMENOV, V.A. VOZNESENSKIJ, A.A. SOLDATOV. The article discusses the application of new information technologies for thermonuclear research in Russia. The Grid technology gives a possibility to create in Russia a virtual research community of plasma physicists, mathematicians, engineers, which will be integrated into international plasma physics community. The article describes the main elements of US Fusion Grid and shows the ways of Russian Fusion Grid construction.

Современная большая термоядерная установка генерирует за импульс более 100 Мб информации. В ближайшем будущем ожидается, что этот объем увеличится до 1 Гб, а в проекте ИТЭР составит более 10 Гб. Несмотря на значительную кооперацию научных лабораторий, в настоящее время из баз данных больших термоядерных установок обрабатывается не более 30% полученной информации. Так как затраты на реализацию современных научно-технических проектов чрезвычайно высоки, встает вопрос, как повысить эффективность их эксплуатации (ROI — Return of Investment). Ответ лежит в двух направлениях. Во-первых, в более эффективном использовании существующих вычислительных мощностей и, во-вторых, в привлечении большего количества исследователей к обработке эксперимента путем создания виртуального сообщества физиков, участвующих в проведении удаленного эксперимента и анализе экспериментальных данных, т.е. более эффективном аналоге существующей кооперации в рамках Remote Control Room. Это заставляет УТС-сообщество унифицировать форматы экспериментальных данных, стандартизировать прикладные программы для их анализа и создавать специализированные вычислительные сети на основе Grid-технологий. Например, Министерство энергетики США (DOE) в настоящий момент организовало шесть Grid-сетей для увеличения ROI крупных научно-технических проектов и жестко координирует деятельность своих лабораторий в этом направлении.

Grid определяется как инфраструктура, предоставляющая пользователям доступ к потенциально большому числу мощных и сложных распределенных ресурсов и позволяющая гибко и безопасно координировать эти ресурсы среди произвольного состава индивидуальных пользователей и виртуальных организаций [1]. Или, иначе говоря, это сообщество научных организаций, объединивших свои ресурсы для решения поставленных задач и предоставившее эти ресурсы в общее пользование в одинаковом для этого сообщества виде. В нашем случае распределенными

ресурсами являются диагностические комплексы экспериментальных установок, их базы данных, результаты исследований, вычислительные ресурсы и компьютерные сети. Задача имеет три составляющие: во-первых, административную, т.е. определяющую правила предоставления ресурсов в общее пользование в результате взаимного соглашения заинтересованных сторон; во-вторых, прикладную, определяющую общие стандарты на прикладное математическое обеспечение и формат данных; в третьих, системную, обеспечивающую разработку общего системного программного обеспечения, организующего распределенную Grid-среду.

В США Fusion Grid создавалась в рамках проекта NFC (National Fusion Collaboration, DOE), который был создан для более глубокого научного понимания общей проблемы, обмена инновациями в области магнитного термояда и обеспечения более эффективной интеграции эксперимента, теории и компьютерного моделирования [2]. Функцию координации сторон выполняет DOE.

Первым шагом на пути создания виртуального исследовательского сообщества было соглашение о выделении в общее пользование под Fusion Grid вычислительных ресурсов трех плазменных лабораторий США — General Atomics (GA), Princeton Plasma Physics Laboratory (PPPL) и Massachusetts Institute of Technology (MIT) Plasma Science and Fusion Center. Первоначально основные вычислительные мощности Fusion Grid составляли 60-процессорный кластер Beowulf Linux, предоставленный PPPL. Позже дополнительные вычислительные ресурсы были привлечены из US Science Grid (DOE), основу которой составляют Аргонская национальная лаборатория (ANL), национальная лаборатория Беркли (Lawrence Berkeley), а также ряд других лабораторий DOE.

Вторым шагом было принятие общего стандарта на SCADA-систему (System Control and Data Acquisition) — MDSplus [3, 4], а также на общую схему управления реляционными базами данных на настоящий момент, реализованную с помощью Microsoft SQL Server. (Сейчас пакет программ MDSplus распространяется бесплатно по согласованию с разработчиками системы.)

Использование MDSplus на разных установках дало возможность представлять данные в едином формате, что, в свою очередь, позволило легко адаптировать многочисленные специальные программы физиков для работы на этих установках, а также визуализировать данные в едином формате, привычном для исследователей виде. В настоящее время MDSplus используется более чем на 30 установках в мире и согласована с многими прикладными кодами, например, такими, как TRANSP, EFIT и др. Заметим также, что база данных установки ИТЭР уже имеет представление в формате MDSplus.

Третьим шагом на пути реализации американской Fusion Grid было создание системного программного обеспечения (процесс интенсивно продолжается и в настоящее время в рамках NSF), связующего воедино выделенные ресурсы и собственно создающего Grid-среду, т.е. программного продукта, обеспечивающего идентификацию, вторизацию, правила работы в системе, а также описание, распределение, резервирование и поиск свободных ресурсов, удаленный доступ к данным, высокоскоростную пересылку данных, гарантирование производительности системы, обнаружение несанкционированного доступа, мониторинг системы, выставление счетов, их оплату и др.

Этот распространяемый бесплатно программный продукт создавался в течение многих лет в проекте Globus PROJECT^{TM}, в рамках NSF. В результате этой работы был создан пакет программ под названием Globus Toolkit^{TM} [5]. Он реализует следующие функции:

— Grid Security Infrastructure (GSI) [6], который обеспечивает аутентификацию и авторизацию пользователей для работы с прикладными программами на основе сертификата X.509 [7], базируясь на Transport Layer Security (TLS);

— Meta Directory Service (MDS) [8], обеспечивающий посредством GSI доступ к информации о доступности и состоянии ресурсов Grid на основе Lightweight Directory Access Protocol (LDAP);

— Globus Resource Allocation and Management (GRAM*)* [9] сервис, обеспечивающий протокол (и API — Application Programmer Interface) для безопасной передачи данных и управления выполнением удаленных задач. GRAM-сервер обеспечивает единый интерфейс к различным инструментам локального управления ресурсами. Этот сервис построен на основе гибкого Resource Specification Language (RSL), что позволяет осуществлять обмен информацией о требуемых ресурсах, запускать процессы выполнения задач и контролировать выполнение задач из всех компонентов GRAM-архитектуры;

— Globus Toolkit «Data Grid» технология поддерживает распределенное управление большим количеством данных;

— GridFTP обеспечивает эффективную, надежную и безопасную передачу большого объема данных;

— Replica catalog and replica management tool предназначены для дублирования и управления размещением данных при их хранении.

Пример функционирования DOE с использованием кода EFIT (код EFIT рассчитывает равновесие и магнитные поверхности в токамаках D-образного сечения) показан на рис. 1 [2].

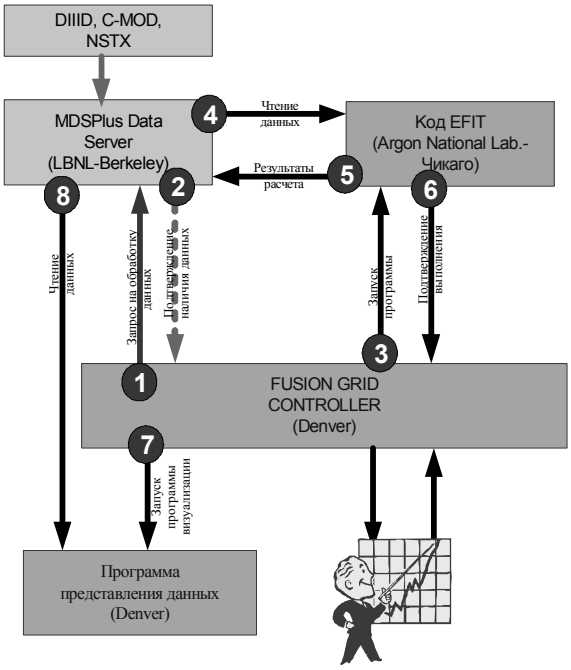

Рис. 1. Схема работы Fusion Grid

Схема содержит четыре ключевых компонента, взаимодействующих посредством GLOBUS-приложений в рамках MDSplus:

— программу-контроллер, дирижирующую компонентами и взаимодействующую с пользователями посредством Grafical User Interface (GUI);

— MDSplus-сервер данных, где данные сохраняются и откуда они выбираются;

— код анализа данных EFIT [10], позволяющий реконструировать равновесие плазменного шнура (положение и его форму);

— визуализацию данных.

В представленном примере рабо-

та Fusion Grid происходит следующим образом. Сначала Grid-контроллер, расположенный в Денвере, обращается к серверу данных MDSplus (Лаборатория Беркли в Калифорнии) с запросом на обработку заданных экспериментатором данных. Сервер данных MDSplus просматривает базу данных установок и сообщает контроллеру сети о наличии данных. При наличии данных контроллер запускает код EFIT, установленный на суперкомпьютере в Аргонской лаборатории, Чикаго. EFIT запрашивает данные на сервере MDSplus, производит вычисления, сохраняет результат вычислений на сервере MDSplus и сообщает контроллеру сети о завершении действий. Контроллер сети запускает программу визуализации (Денвер) и по завершении операции через контроллер сети выдает пользователю, расположенному, например, в России, результаты анализа и их графическое представление. Текущее состояние Fusion Grid отображается монитором Grid во Всемирной паутине по адресу http://WWW.FUSIONGRID.ORG. Пример такого отображения для кода TRANSP представлен на рис. 2.

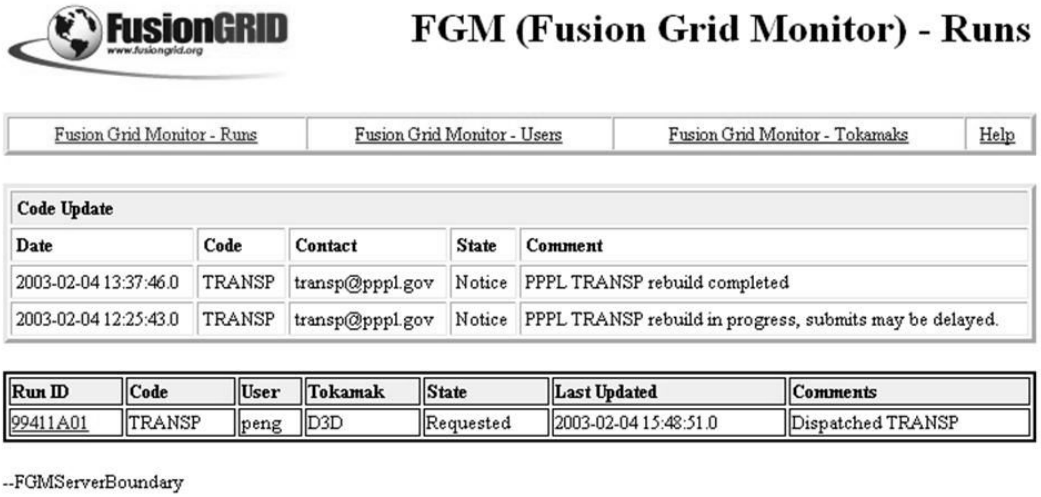

Рис. 2. Представление информации о работе сети монитором Fusion Grid

При создании российской Fusion Grid прежде всего необходимо ответить на следующие вопросы.

Готово ли российское термоядерное сообщество к работе в среде Fusion Grid, т.е. конкретно кому и для чего необходима российская Fusion Grid?

Какую выгоду получит российское термоядерное сообщество от создания российской Fusion Grid?

Какие организации, в каком объеме и на каких условиях могут предоставить в общее пользование термоядерного сообщества свои ресурсы, т.е. базы данных, результаты исследований, вычислительные ресурсы и вычислительные сети?

Готовы ли Минатом и Миннаука по аналогии с DOE в США начать жесткую программу координации капиталовложений с целью повышения эффективности научных исследований в области УТС в рамках российской Fusion Grid?

Попытаемся дать ответ на поставленные вопросы. Очевидно, что ответ на последний вопрос лежит за пределами этой статьи.

С проблемой унификации кодов и форматов данных прежде всего столкнулись те коллективы российского термоядерного сообщества, которые имеют тесное международное сотрудничество с зарубежными лабораториями в рамках общих тем исследований или участвуют в проекте ИТЭР, что заставило эти лаборатории де-факто принять формат MDSplus. Так, программа визуализации данных установки ГЛОБУС (ФТИ им. Иоффе) имеет специальную функцию для перехода в формат данных MDSplus и представления данных формата установки NSTX (PPPL, Princeton). Де-факто базы данных и результаты анализа проекта ИТЭР также представлены в формате MDSplus (рис. 3).

MDSplus Server and Tree Names

If you want to get started, then the following information is crucial.

Database	PR98	Working DB	ITB DB
MDSplus Server Name	`tokamak-profiledb.ukaea.org.uk'	`tokamak-profiledb.ukaea.org.uk:8001'	`tokamak-profiledb.ukaea.org.uk:8002'
Tree Names	pr98_*tok*[1]	*tok*[1]	itb_*tok*[1]
Access	unrestricted	**registration required**[2]	**registration required**[2]

[1] where *tok*= `aug', `cmod', `d3d', `ftu', `jet', `jt60u', `rtp', 't10', 'tftr', 'ts', 'txtr'

[2] **Registration for Working Database MDSplus Access**

To access the Working Database via MDSplus, you must register by sending your username, hostname, and IP address for the machine from which you wish to access the working database using MDSplus.
To register, just

Email your registration details

NB MDSplus access to the working profile database is ONLY possible for registered IP addresses/usernames.
NB PR98 is NOT subject to this restriction.

Рис. 3. Представление баз данных ИТЭР сервером MDSplus

Отвечая на второй вопрос, следует сказать, что задача российской Fusion Grid объединить исследователей и вывести их на уровень стандартов международного Fusion Community, используя опыт лабораторий, которые уже столкнулись с этой проблемой.

Создание российской части Fusion Grid, по-видимому, целесообразно проводить в три этапа.

На первом этапе работ необходимо унифицировать внешнее представление экспериментальных данных на крупных экспериментальных установках, таких, как Т-10, Т-11М, ГЛОБУС, ТУМАН-3, а также, возможно, на стеллараторах в ИОФ РАН и ловушках в Сибири, запустить аналитические коды на суперкомпьютере РНЦ «Курчатовский ин-т». Для этой цели необходимо:

— создать на этих установках серверы MDSplus, используя опыт ИЯС по применению MDSplus на установке Т-10 [11];

— доработать Graphical User Interface MDSplus (GUI_MDSplus) на основе интерфейсов DWScope, Traverser и ГЛОБУС_MDSplus;

— адаптировать пакеты программ ASTRA, OGRAY, DINA, EFIT и др. под формат данных MDSplus и запустить их на суперкомпьютере РНЦ «Курчатовский ин-т»;

— разработать унифицированные Command User Interface (CUI_CODES) и Graphical User Interface (GUI_CODES) к этим кодам;

— создать комплект техдокументации и инструкций к MDSplus — GUI_MDSplus и пакетам ASTRA, EFIT, OGRAY, DINA — CUI_CODES, GUI_CODES;

— провести обучение физиков работе с этими пакетами в среде обычного Internet (TCP/IP, клиент-сервер, точка-точка).

На втором этапе работ внедрить Grid-технологию, распространив ее на серверы MDSplus и на суперкомпьютер РНЦ «Курчатовский ин-т». Для этой цели:

— создать сервисы GSI, MDS, GRAM;

— организовать высокоскоростной доступ к созданным на первом этапе ресурсам с аутентификацией, авторизацией, поиском и доступом к ним через средства Globus Toolkit с использованием этих сервисов из участвующих в Fusion Grid научных центров;

— провести обучение физиков работе с этими программными средствами.

На третьем этапе работ интегрировать РФ и US Fusion Grid и др. Fusion Grids.

В заключение авторы благодарят сотрудников Института ядерного синтеза РНЦ «Курчатовский ин-т» за критику и ценные замечания, высказанные при подготовке рукописи данной статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Foster I., Kesselman C., Tuecke S.** The anatomy of the Grid. Enabling scalable virtual organizations. — Intern. J. of High Performance Computing Applications, 2001, vol. 15 (3), p. 200—222.
2. **Keahey K., Fredian T., Peng Q., Schissel D.P., Thompson M., Foster I., Greenwald M., McCune D.** Computational Grids in Action. The National Fusion Collaboratory, www.fusiongrid.org.
3. **Fredian T., Stillerman J.** MDSplus remote collaboration support Internet and the world wide web. — Fusion Engineering and Design, 1999, p. 43.
4. **Вознесенский В.А., Семенов И.Б.** Препринт ИАЭ-6249/12, 2002.
5. **Foster I., Kesselman C.** The Globus project. A status report. — In: Proc. Heterogeneous Computing Workshop, 1998, IEEE Press, p. 4—18.
6. **Foster I. et al.** A security architecture for computational grids. — In: ACM Conf. on Computers and Security, 1998, p. 83—91.
7. **Housely R. et al.** Internet X.509 Public Key Infrastructure Certificate and CRL Profile, http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-pkix-new-part1-11.txt.
8. **Czajkowski K. et al.** Grid information services for distributed resource sharing. — In: 10th IEEE Intern. Symp. on High Performance Distributed Computing, 2001, IEEE Press.
9. **Czajkowski K. et al.** A resource management architecture for metacomputing systems. — In: 4th Workshop on Job Scheduling Strategies for Parallel Processing, 1998, Springer-Verlag, p. 62—82.
10. **Lao L.L. et al.** Reconstruction of current profile parameters and plasma shapes in tokamaks. — Nucl. Fusion, 1985, vol. 25, p. 1611.
11. **Вознесенский В.А., Семенов И.Б.** Организация обмена экспериментальными данными с использованием системы MDSplus. — В сб.: X Всероссийская конференция «Диагностика высокотемпературной плазмы», Троицк, 2003.

Статья поступила в редакцию 10 ноября 2003 г.
Вопросы атомной науки и техники.
Сер. Термоядерный синтез, 2003, вып. 4, с. 62—67