УДК 004.45

ГРИД-СИСТЕМА CAEBeans: ИНТЕГРАЦИЯ РЕСУРСОВ ИНЖЕНЕРНЫХ ПАКЕТОВ В РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СРЕДЫ *

© 2009 г.

Г.И. Радченко

Южно-Уральский госуниверситет, г. Челябинск

gleb.radchenko@gmail.com

Поступила в редакцию 01.08.2009

Рассмотрены основные принципы реализации системы CAEBeans, обеспечивающей построение и поддержку распределенной вычислительной среды для решения задач инженерного моделирования и анализа. Даны классификация пользователей и описание базовых сущностей системы, представлены компоненты, составляющие систему CAEBeans. Рассмотрены аспекты взаимодействия между данными компонентами в ходе постановки и решения задач инженерного анализа.

Ключевые слова: CAEBeans, виртуальные испытательные стенды, грид, проблемно-ориентированные оболочки, CAE, поток задач, UNICORE.

Введение

Одним из наиболее перспективных методов сокращения сроков разработки сложной технологической продукции является применение программных систем класса CAE (Computer Aided Engineering), позволяющих эффективно осуществлять компьютерное моделирование разрабатываемых образцов. Такой подход дает возможность значительно повысить точность анализа проектных вариантов продукции и проводить виртуальные эксперименты, которые в реальности выполнить затруднительно.

Точность результатов компьютерного моделирования во многом зависит от степени детализации сеток, используемых для проведения вычислительных экспериментов. На сегодня размер сеток, используемых в задачах инженерного анализа, может составлять десятки миллионов элементов [1]. В связи с этим постоянно возрастает вычислительная сложность и требуются значительные вычислительные ресурсы для выполнения инженерного моделирования. Решение этой проблемы заключается в использовании многопроцессорных систем.

Практически все современные CAE-пакеты имеют параллельные реализации для многопроцессорных систем, в том числе и для систем с кластерной архитектурой. Современный опыт использования суперкомпьютерных систем показывает, что максимальная эффективность вычислительных ресурсов может быть достигнута при объединении таких систем в вычислительные грид-сегменты [2, 3]. Таким образом, важной темой исследования является интеграция CAE в грид-среды.

Сейчас многие научные коллективы исследуют возможность применения грид-технологий для решения ресурсоемких задач инженерного анализа. В то же время наблюдается тенденция перехода от разработки специализированных грид-ориентированных систем к интеграции существующих классических специализированных систем в сервисно-ориентированные грид-среды [4]. Были разработаны надстройки для системы UNICORE для постановки задач и использования ресурсов инженерных и научных систем Gaussian, Nastran, Fluent, StarCD [5, 6]. Однако непосредственное использование отдельных подключаемых модулей для решения отдельных этапов задач инженерного моделирования не обеспечивает универсального комплексного подхода и единого пользовательского интерфейса для проведения виртуальных испытаний и ориентировано скорее на программистов, чем на инженеров.

В качестве перспективного подхода к решению задач внедрения современных CAE-систем в распределенные вычислительные среды предлагается оригинальная технология CAEBeans [7–10]. В основе технологии CAEBeans лежит обеспечение сервисно-ориентированного предоставления программных ресурсов базовых компонентов CAE-систем и формирование ие-

* Статья рекомендована к печати программным комитетом Международной научной конференции «Параллельные вычислительные технологии 2009» (http://agora.guru.ru/pavt).

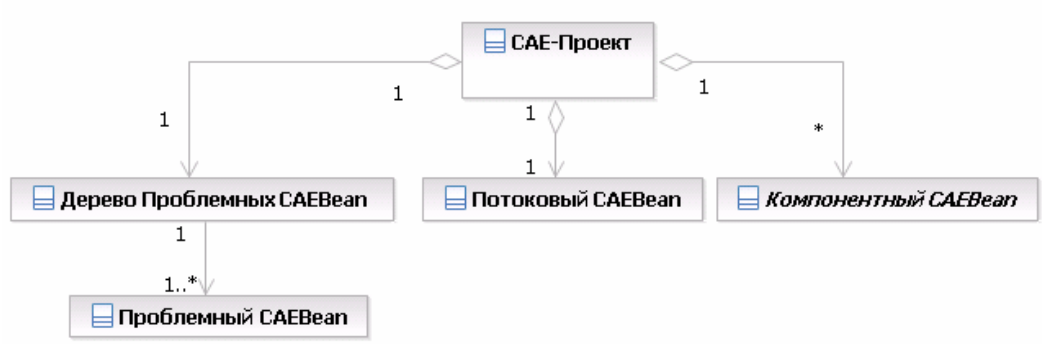

Рис. 1. Сущности, составляющие CAE-проект

рархий проблемно-ориентированных оболочек, инкапсулирующих процедуру постановки и решения определенного класса задач. Технология CAEBeans регламентирует процесс декомпозиции задачи в иерархию подзадач; поиск вычислительных ресурсов; сопоставление задачам соответствующих базовых компонентов CAE-систем; мониторинг хода решения задач; передачу результатов решения задач пользователю.

1. Базовые сущности и пользователи системы CAEBeans

Система CAEBeans представляет собой комплекс компонентов, которые обеспечивают решение задач инженерного моделирования и анализа посредством вычислительных ресурсов, предоставляемых участниками распределенных грид-сетей.

Для обеспечения слаженного взаимодействия между всеми элементами системы CAEBeans необходимо определить набор основных сущностей, которые используются для обмена информацией между компонентами системы в процессе постановки и решения задач инженерного анализа. Также необходимо определить основные группы пользователей, основные цели и интерфейсы их взаимодействия с системой.

В основе системы CAEBeans лежит определение CAE-проекта. *CAE-проект* – это комплекс взаимосвязанных проблемных, потоковых и компонентных оболочек CAEBeans (соответствующих концептуальному, логическому и физическому слою архитектуры CAEBeans [7, 8]), ориентированных на решение определенного класса задач инженерного анализа (рис. 1).

В состав CAE-проекта не входят оболочки системного слоя, так как этот слой оболочек CAEBeans является проблемно-независимым. Возможность решения конкретной подзадачи средствами данной системной оболочки ограничивается только возможностью реализации соответствующей компонентной оболочки на физическом слое.

Описание сущностей, составляющих CAE-проект, можно начать с базовой сущности CAE-параметра. *CAE-параметр* содержит информацию об отдельном параметре в задаче инженерного моделирования. В качестве примера таких параметров можно привести: температуру жидкости, протекающей в системе труб, при моделировании трубопровода; шаг и профиль резьбы при моделировании резьбового соединения труб; скорость поступательного движения и скорость вращения трубы при моделировании процесса закалки. Таким образом обеспечивается проблемно-ориентированная постановка задачи, независимая от функциональных особенностей программных продуктов, на основе которых будет производиться ее решение [7]. Можно выделить следующие основные атрибуты CAE-параметра:

– Name – уникальное имя параметра, однозначно определяющее его в рамках текущего CAE-проекта;

– Type – тип CAE-параметра (целочисленный, число с плавающей запятой, множество, строка и др.);

– Value – значение параметра;

– Units – единицы измерения параметра;

– Comments – комментарии, описывающие особенности и область применения CAE-параметра в терминах проблемной области CAE-проекта.

Проблемный CAEBean объединяет CAE-параметры, определяющие задачу инженерного моделирования, в соответствии с категориями параметров, выделенных разработчиком CAE-проекта. При постановке задачи инженерного моделирования пользователь указывает значения параметров, характеризующие задачу соот-

Рис. 2. Узлы логического плана решения задачи

ветствующего класса. Таким образом, при постановке задачи посредством проблемной оболочки CAEBean пользователю предоставляется возможность оперировать терминами той проблемной области, в рамках которой проводится решение задачи.

Значения CAE-параметров могут быть указаны пользователем явно или же вычислены соответствующим проблемным CAEBean в ходе решения задачи и, при необходимости, предоставлены пользователю.

CAE-проект поддерживает формирование *дерева проблемных оболочек* в соответствии с технологией CAEBeans. Корневой элемент представляется проблемной оболочкой, соответствующей наиболее обобщенному описанию определенного класса решаемых задач. Процедуру формирования дерева проблемных оболочек можно описать как движение от корневого элемента к листьям. Технология CAEBeans позволяет дочерним проблемным оболочкам конкретизировать классы задач, решаемые их родительской оболочкой, путем выделения и инкапсуляции групп параметров, значения которых фиксируются на данном уровне абстракции [9].

Потоковый CAEBean содержит информацию о логическом плане решения задачи инженерного моделирования и обеспечивает его исполнение. Логический план решения задачи представляет собой ориентированный граф с вершинами одного из следующих типов: узлы решения отдельных подзадач и операторы управления потоком решения задачи (такие как ветвление, распараллеливание и др.) [7]. Типы и семантика узлов логического плана решения задачи соответствуют нотации диаграммы деятельности стандарта UML 2.0 [11].

Диаграмма, представляющая узлы логического плана потокового CAEBean, содержит (см. рис. 2):

– начальный узел – узел, с которого начинается выполнение логического плана решения задачи;

– конечный узел – узел, обозначающий завершение исполнения логического плана решения задачи;

– узел деятельности – узел, обеспечивающий решение определенной подзадачи;

– узел ветвления – узел, обеспечивающий выбор ветви дальнейшего исполнения логического плана решения задачи в зависимости от условия;

– узел слияния – узел, парный узлу ветвления, объединяющий различные ветки исполнения логического плана;

– узел ветвления управления – узел, обеспечивающий параллельное исполнение нескольких потоков логического плана;

– узел слияния управления – узел, парный узлу ветвления управления, обеспечивающий слияние потоков исполнения логического плана.

Каждому узлу деятельности, входящему в потоковый CAEBean, соответствует конкретный компонентный CAEBean.

Процесс решения задачи инженерного моделирования можно представить в виде совокупности взаимосвязанных подзадач, таких как определение геометрии моделируемой области, генерация расчетной сетки, определение физики решаемой задачи, проведение компьютерного моделирования, визуализация и анализ результатов компьютерного моделирования [7]. *Компонентный CAEBean* инкапсулирует процесс

решения отдельной подзадачи инженерного моделирования средствами определенного инженерного пакета.

Можно выделить следующие существенные атрибуты компонентного CAEBean:

– Name – уникальное имя компонентного CAEBean, однозначно определяющее его в рамках текущего CAE-проекта.

– Type – тип компонентного CAEBean. Каждый компонентный CAEBean базируется на функциональных возможностях, предоставляемых определенным системным CAEBean. Таким образом, формат и структура данных постановки подзадачи и получения результатов решения однозначно определяются программным интерфейсом, предоставляемым соответствующим системным CAEBean.

– InCAEParams – входные CAE-параметры, значения которых влияют на процесс решения текущей подзадачи.

– OutCAEParams – выходные CAE-параметры, значения которых устанавливаются в результате решения текущей подзадачи.

Системный CAEBean – это грид-сервис, инкапсулирующий функциональные возможности конкретной инженерной системы и предназначенный для предоставления ресурсов в грид-среде.

Системный CAEBean, реализованный для конкретного базового компонента, является его «представителем» в вычислительной грид-среде. Исследования, проведенные в работе [12], показали, что практически во всех случаях современными инженерными системами поддерживается широкий спектр различных методов управления процессом постановки и решения задач. Системный CAEBean выполняет следующие основные функции:

– предоставляет интерфейс для удаленной постановки задач инженерного моделирования, решаемых посредством определенной инженерной системы;

– автоматизирует процесс постановки и решения задачи средствами CAE-системы, установленной на грид-узле;

– обеспечивает пересылку результатов решения задачи на другие грид-узлы.

Более подробную информацию о принципах реализации и составе системных оболочек CAEBean можно найти в работах [7, 13].

CAE-задание содержит информацию об определенной инженерной задаче, поставленной пользователем. Когда пользователь заполняет значения всех необходимых параметров проблемного CAEBean и отправляет CAE-проект на решение, система CAEBeans формирует CAE-задание, которое инкапсулирует весь дальнейший процесс решения задачи инженерного моделирования. Можно выделить следующие основные атрибуты, определяющие CAE-задание:

– CAEJobId – уникальный идентификатор CAE-задания;

– CAEProject – CAE-проект, содержащий полную информацию о классе поставленной задачи;

– PorblemCAEBean – проблемный CAEBean, содержащий информацию о значениях параметров поставленного CAE-задания;

– SubmitTime – время постановки CAE-задания;

– DestroyTime – время принудительной остановки исполнения CAE-задания;

– Status – текущий статус CAE-задания.

Можно выделить два типа пользователей системы CAEBeans: инженеры и программисты.

Программист – это профессионал в области разработки виртуальных испытательных стендов на платформе CAEBeans. Он разрабатывает CAE-проекты и импортирует в систему CAEBeans разработанные им проблемные оболочки CAEBeans и CAE-проекты виртуальных испытательных стендов. Основным инструментом программиста для разработки проблемных оболочек CAEBeans является компонент *CAEBeans Constructor*.

Инженер – это пользователь системы CAEBeans, решающий задачу инженерного моделирования и анализа на основе созданных для этой задачи проблемных оболочек и CAE-проектов, импортированных в систему. Взаимодействие инженера с системой CAEBeans производится через пользовательский интерфейс, предоставляемый компонентом *CAEBeans Portal*.

2. Реализация системы CAEBeans

Перед тем как рассмотреть состав и роль каждого отдельного компонента в системе CAEBeans, необходимо дать определения фундаментальным понятиям, на основе которых стоится система.

Узел грид – это вычислительный узел, поддерживающий удаленную постановку заданий и передачу результатов решения обратно удаленному пользователю по протоколам грид.

Грид-сервисом называется сервис, поддерживающий предоставление полной информации о текущем состоянии (потенциально, вре-

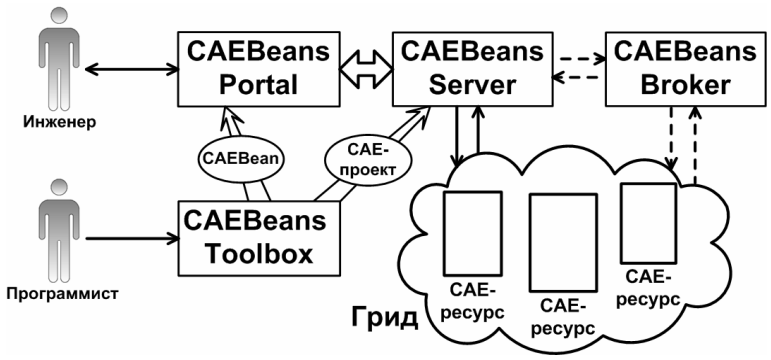

Рис. 3. Общая схема взаимодействия компонентов системы CAEBeans

менного) экземпляра сервиса, а также поддерживающий возможность надежного и безопасного исполнения; управления временем жизни; рассылки уведомлений об изменении состояния экземпляра сервиса; управления политикой доступа к ресурсам; управления сертификатами доступа и виртуализации [14]. В рамках системы CAEBeans грид-сервисы реализуются в виде Web-сервисов, поддерживающих группу стандартов WSRF [15], на базе грид-системы UNICORE 6.0 и пакета WSRFLite [16, 17] и не могут предоставлять ресурсы более чем одного узла грид.

Целевая система – это совокупность грид-сервисов, которые имеют доступ к пространству программных, аппаратных и лицензионных ресурсов некоторого узла грид, поддерживает аутентификацию и авторизацию пользователей.

В состав системы CAEBeans входят следующие компоненты (рис. 3):

– CAEBeans Constructor – интегрированная среда разработки проблемно-ориентированных оболочек для грид;

– CAEBeans Portal – web-приложение, обеспечивающее выбор, загрузку, запуск и получение результатов моделирования CAE-задач;

– CAEBeans Server – хранилище и интерпретатор CAE-проектов;

– CAEBeans Broker – автоматизированная система регистрации, анализа и предоставления CAE-ресурсов;

– CAE-ресурсы – грид-сервисы, обеспечивающие удаленную постановку и решение задач средствами некоторого инженерного пакета на базе конкретной целевой системы.

Функционально можно выделить 3 блока компонентов, входящих в состав системы CAEBeans: компоненты, обеспечивающие пользовательский интерфейс системы CAEBeans (CAEBeans Portal и CAEBeans Toolbox); компоненты, обеспечивающие управление и логику работы системы CAEBeans (CAEBeans Server и CAEBeans Broker); компоненты, обеспечивающие вычислительные ресурсы системы CAEBeans (набор CAE-ресурсов).

2.1. CAEBeans Constructor

CAEBeans Constructor – это интегрированная среда разработки CAE-проектов. CAEBeans Constructor предоставляет программисту пользовательский интерфейс для разработки проблемно-ориентированных оболочек CAEBeans концептуального, логического и физического уровней. В соответствии с этим, пользовательский интерфейс, обеспечивающий разработку CAE-проектов в среде CAEBeans Constructor, разделен на 3 секции, обеспечивающие разработку проблемных, логических и физических оболочек CAEBean.

Разработка CAE-проекта начинается с формирования концептуального слоя и корневого проблемного CAEBean в дереве проблемных оболочек. Пользовательский интерфейс концептуального уровня позволяет программисту сформировать список категорий CAE-параметров и указать свойства CAE-параметров, входящих в каждую из категорий. Также CAEBeans Constructor предусматривает возможность формирования иерархии проблемных CAEBean посредством наследования дочерних проблемных CAEBean от родительского. CAE-параметры в наследуемом проблемном CAEBean можно зафиксировать определенными значениями (константой либо в зависимости от других CAE-параметров). В этом случае данные параметры не показываются инженеру при постановке задачи, а автоматически вычисляются в процессе решения.

Пользовательский интерфейс логического слоя CAEBeans Constructor обеспечивает визуальное редактирование графа логического плана потокового CAEBean. Программист может создавать, редактировать и удалять узлы логического плана. Программист может указать до-

полнительные свойства, в зависимости от типа добавляемого узла: при создании узла ветвления требуется указать условие ветвления, при создании узла ветвления управления можно указать количество параллельных ветвей. При создании нового узла деятельности пользователю предоставляется возможность выбора одного из существующих или создание нового компонентного CAEBean.

Для создания нового или редактирования существующего компонентного CAEBean программисту предоставляется пользовательский интерфейс физического слоя. Программисту необходимо выбрать базовый системный CAEBean, интерфейсу которого будет соответствовать новый компонентный CAEBean. Далее программист загружает необходимые файлы шаблонов заданий (на основе которых будут генерироваться входные файлы при постановке задания CAE-ресурсу) и указывает области импорта значений CAE-параметров текущего CAE-проекта в данные файлы.

Разработанный CAE-проект можно сохранить на локальном компьютере программиста или внедрить в систему CAEBeans, экспортировав проблемный CAEBean в CAEBeans Portal и CAE-проект в CAEBeans Server.

2.2. CAEBeans Portal

CAEBeans Portal – это web-приложение, доступное через Интернет, обеспечивающее пользовательский интерфейс для постановки и решения задач инженерного анализа средствами системы CAEBeans.

В соответствии с функциональной нагрузкой, можно выделить три части компонента CAEBeans Portal: пользовательский Web-интерфейс, генератор Web-форм и клиент CAEBeans Server (рис. 4).

Web-интерфейс обеспечивает аутентификацию пользователей системы CAEBeans и предоставление пользовательского интерфейса для обзора проблемных CAEBean, доступных пользователю, и CAE-заданий, запущенных пользователем.

Генератор Web-форм обеспечивает хранение

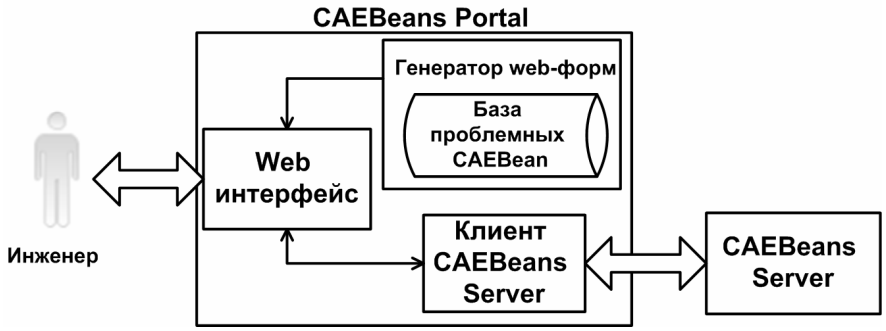

Рис. 4. Схема компонента CAEBeans Portal

проблемных оболочек CAEBeans, экспортированных из CAEBeans Constructor, и автоматическую генерацию Web-форм для постановки CAE-заданий на основе описания CAE-параметров соответствующих проблемных CAEBean.

Клиент CAEBeans Server обеспечивает постановку и получение результатов решения CAE-заданий от компонента CAEBeans Server.

2.3. CAEBeans Server

CAEBeans Server – это грид-служба, отвечающая за хранение и интерпретацию CAE-проектов (рис. 5). Компонент CAEBeans Server отвечает:

– за хранение CAE-проектов, экспортированных программистом из CAEBeans Constructor;

– за получение входных данных для постановки CAE-задания от CAEBeans Portal;

– за формирование CAE-задания для решения задачи с уникальным набором входных данных;

– за пошаговое исполнение логического плана CAE-проекта;

– за взаимодействие с CAEBeans Broker для получения CAE-ресурсов, необходимых для решения каждой подзадачи CAE-задания;

– за формирование и постановку подзадачи CAE-ресурсу;

– за получение результатов решения подзадачи от CAE-ресурса и предоставление их пользователю по запросу.

Функционально CAEBeans Server представляет собой грид-сервис на базе стандарта WSRF:

– каждый запрос к CAEBeans Server происходит в контексте CAE-задания, уникальный идентификатор которого обеспечивает форми-

рование контекста исполнения запроса по стандарту WS-Addressing;

– анализ запросов на предоставление ресур-

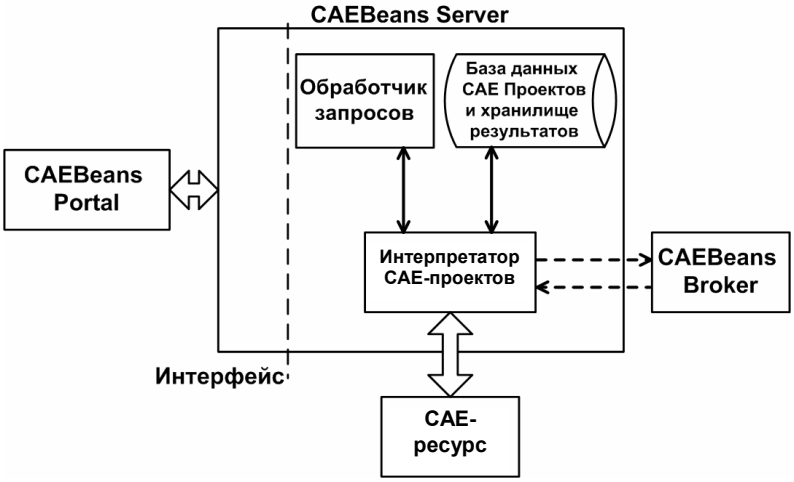

Рис. 6. Схема CAEBeans Server

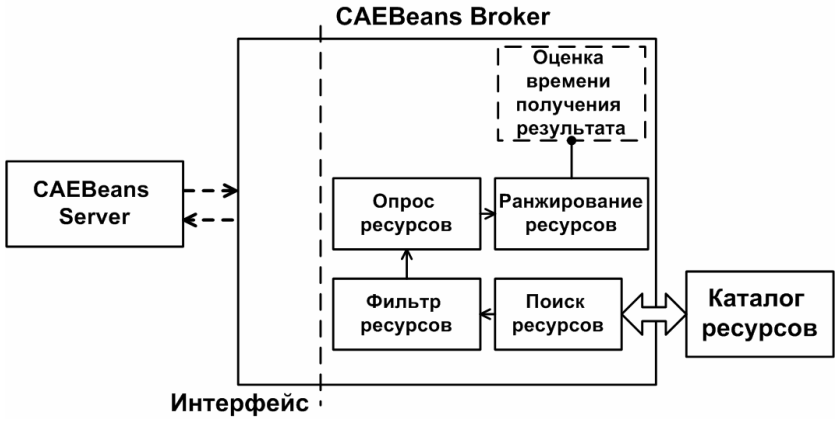

Рис. 6. Схема CAEBeans Broker

– свойствами ресурса, предоставляемыми CAEBeans Server по стандарту WS-Resouce-Properties, являются свойства текущего CAE-задания;

– обеспечивается подписка на базе стандарта WS-Notification об изменении состояния свойств CAE-задания;

– время жизни CAE-задания управляется на базе стандарта WS-ResourceLifetime.

2.4. CAEBeans Broker

CAEBeans Broker обеспечивает автоматизированную регистрацию, поиск и выделение CAE-ресурсов для решения подзадач инженерного моделирования.

Возможно выделить следующие основные задачи CAEBeans Broker:

– обработка каталога CAE-ресурсов грид-среды;

сов, поступающих от CAEBeans Server;

– сбор и предоставление информации об актуальном состоянии грид-среды.

Г[База данных CAE-проектов и хранилище результатов]е проекции подзадачи с физическо[истемный слой архитектуры CA]EBeans Broker выступает в качестве промежуточного звена, обеспечивающего поиск и предоставление CAE-ресурсов, оптимальных для данной подзадачи (см. рис. 6) [18].

При оценке оптимальности того или иного доступного CAE-ресурса CAEBeans Broker учитывает совокупность различных характеристик грид-узла, на базе которого размещается CAE-ресурс, и их соответствие требованиям CAE-задания:

– статические аппаратные характеристики базового грид-узла (объем оперативной памяти, дисковое пространство, архитектура процессора и др.);

– динамические характеристики базового грид-узла (загруженность канала, объем свободной оперативной памяти, загруженность процессора, длина очереди задач и др.);

– программные характеристики CAE-ресурса (версия и тип вычислительного пакета, набор требуемых библиотек, тип системного CAEBean и др.);

– информация о подзадаче (вычислительная сложность подзадачи, масштабируемость, размер исходных данных и др.).

Более подробно архитектуру и алгоритм работы CAEBeans Broker можно найти в работах [10, 18].

2.5. CAE-ресурс

CAE-ресурсом называется системный CAEBean, установленный на определенном грид-узле и предоставляющий ресурсы некоторого инженерного пакета на базе конкретной целевой системы. CAE-ресурс обеспечивает:

– получение данных для решения задачи средствами базового инженерного пакета из CAEBeans Server или внешнего источника данных;

– запуск и автоматизированное решение задачи инженерного моделирования;

– передачу результатов решения CAEBeans Server или во внешнее хранилище данных.

На узле грид установлен набор CAE-пакетов, обеспечивающих решение определенных задач инженерного анализа. Каждая CAE-система обладает индивидуальным интерфейсом, позволяющим автоматизировать постановку и решение задач. В качестве примера таких интерфейсов можно привести:

– лог-файлы и макросы, поддерживаемые CAE-пакетом ANSYS Mechanical;

– файлы сценариев на языке Python, поддерживаемые CAE-пакетом Abaqus;

– текстовый файл CCL (Command Language File – файл языка команд), поддерживаемый решателем ANSYS CFX-Solver.

При постановке задачи CAE-ресурсу передается задача инженерного моделирования в формате, соответствующем интерфейсу требуемого инженерного пакета. CAE-ресурс автоматизирует его запуск, формируя требуемые входные значения для решения задачи, и обеспечивает передачу файлов с результатами решения задачи на узел, заданный CAEBeans Server.

CAE-ресурсы располагаются на узлах грид в контейнерах, предоставляемых установленными целевыми системами. Целевая система CAEBeans:

– формируется на базе целевой системы UNICORE;

– обеспечивает авторизацию и аутентификацию пользователей по протоколам безопасности грид;

– является контейнером системных CAEBean;

– обеспечивает взаимодействие грид-узла с CAEBeans Server (постановка и получение результатов решения подзадач, оповещение об изменении статуса подзадач и др.);

– обеспечивает взаимодействие грид-узла с CAEBeans Broker (предоставление информации о текущем состоянии (статических и динамических характеристиках) целевой системы, резервирование и освобождение вычислительных ресурсов и др.).

3. Взаимодействие компонентов системы CAEBeans при постановке и решении задачи инженерного моделирования

Рассмотрим, каким образом компоненты системы CAEBeans обеспечивают процесс постановки и решения задачи инженерного моделирования (рис. 7).

1. Инженеру предоставляется доступ к Web-страницам компонента CAEBeans Portal. Он авторизуется на данном портале и выбирает оболочку из списка доступных проблемных CAEBean. Посредством пользовательского интерфейса, предоставляемого CAEBeans Portal, инженер указывает значения CAE-параметров и интересующие его результаты решения, после чего запускает процесс решения задачи.

2. CAEBeans Portal формирует проблемный CAEBean, устанавливая значения всех CAE-параметров, введенные пользователем, и отправляет запрос компоненту CAEBeans Server на создание нового CAE-задания с соответствующими входными значениями. В ответ на данный запрос CAEBeans Server формирует новый контекст исполнения задачи и передает уникальный идентификатор CAE-задания (в терминах WSRF – идентификатор ресурса) компоненту CAEBeans Portal. В дальнейшем любую информацию о ходе решения задачи можно получить, указав данный идентификатор CAE-задания в запросе CAEBeans Server.

3. В CAE-задание загружаются данные о соответствующем CAE-проекте, включая дерево проблемных оболочек CAEBeans, и производится инициализация всех CAE-параметров задачи. После этого начинается последовательное

исполнение логического плана решения задачи. Дальнейшие шаги последовательно повторяются для каждого узла деятельности в составе логического плана вплоть до окончания решения

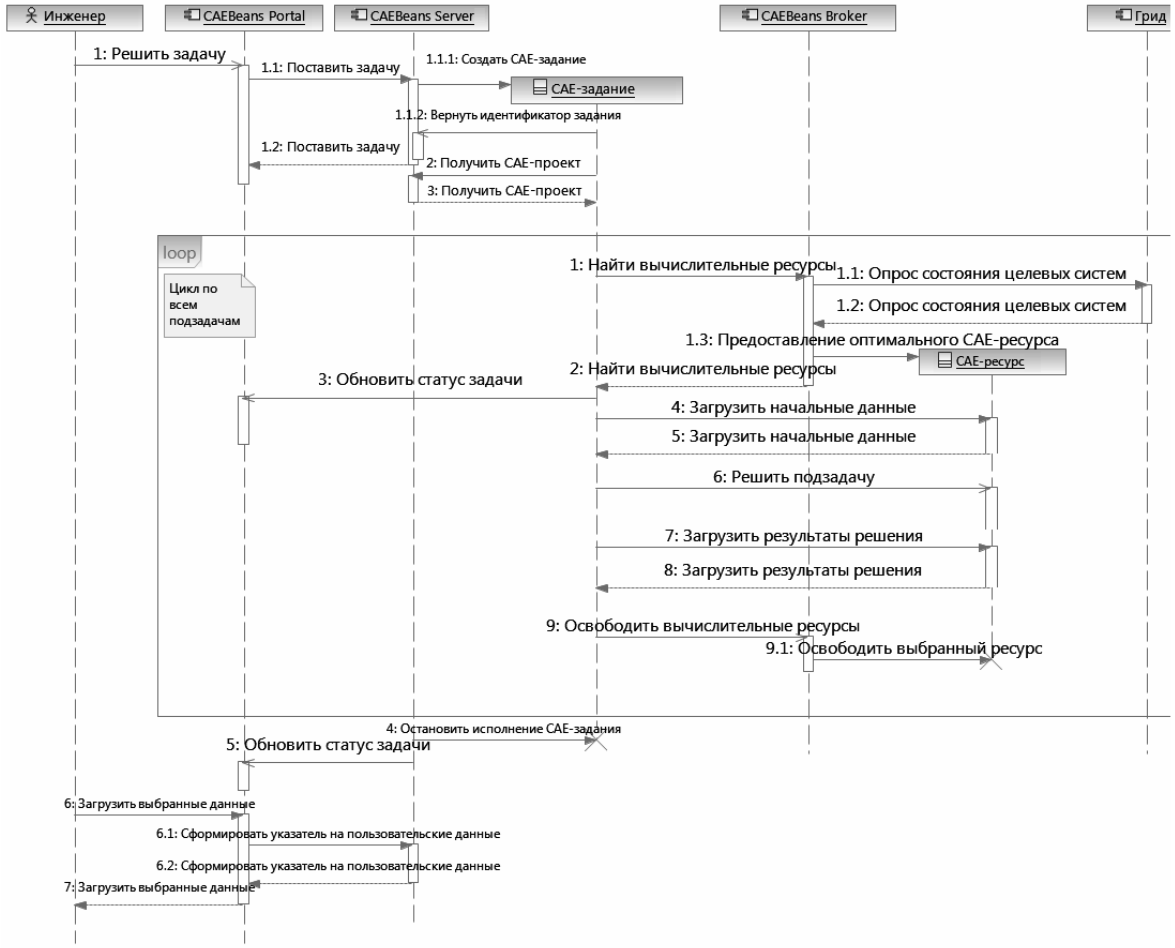

Рис. 7. Диаграмма последовательности постановки и решения задачи инженерного анализа в системе CAEBeans

задачи:

3.1. Компоненту CAEBeans Broker отправляется запрос на выбор оптимального вычислительного ресурса. Он производит анализ состояния доступных на текущий момент узлов грид и соответствующих целевых систем, после чего резервирует и передает адрес наиболее подходящего CAE-ресурса системе CAEBeans Server.

3.2. CAEBeans Server обновляет статус задачи и оповещает об этом CAEBeans Portal.

3.3. CAEBeans Server производит загрузку начальных данных на выделенный CAE-ресурс, после чего инициирует процесс решения подзадачи.

3.4. По окончании решения подзадачи CAE-ресурс производит выгрузку результатов решения на выделенный сервер хранения результатов (в зависимости от задачи это может быть CAEBeans Server; узел грид, ответственный за следующий этап решения CAE-задания, или же какой-либо другой узел грид).

3.5. CAEBeans Server отправляет запрос CAEBeans Broker на освобождение текущего CAE-ресурса.

4. CAEBeans Server обновляет статус задачи на «Успешно решена» и останавливает исполнение CAE-задания.

5. Инженер заходит на CAEBeans Portal и выбирает данные, которые хочет загрузить на локальный компьютер. CAEBeans Portal обращается к CAEBeans Server и получает ссылки на запрошенные данные, после чего производится загрузка результатов решения пользователю.

Заключение

В статье представлена архитектура и состав системы CAEBeans, обеспечивающей поддержку и интеграцию систем инженерного анализа в

распределенные вычислительные грид-среды. Описаны базовые сущности CAE-проекта и CAE-задания, на которых основывается взаимодействие компонентов системы CAEBeans. Описаны основные группы пользователей системы. Рассмотрен состав и базовые функциональные возможности основных компонентов системы CAEBeans: CAEBeans Portal, CAEBeans Server, CAEBeans Broker, CAE-ресурсы. Рассмотрен процесс взаимодействия данных компонентов при решении задач инженерного моделирования и анализа.

Важной частью работы является применение разрабатываемой технологии для решения конкретных производственных задач. В рамках контракта с Челябинским трубопрокатным заводом созданы проблемно-ориентированные оболочки для решения задач, возникающих в процессе производства и эксплуатации изделий предприятия. По заказу предприятия решены задачи: «Разработка проблемно-ориентированных оболочек для моделирования воздействия деформирующих нагрузок на резьбовые соединения обсадных и насосно-компрессорных труб» и «Разработка проблемно-ориентированных оболочек для моделирования овализации труб при закалке». Разработанные оболочки инкапсулируют процесс решения соответствующих задач в рамках функциональных возможностей пакетов ANSYS Mechanical и DEFORM. Данные оболочки позволяют производить моделирование поставленных задач вычислительными средствами суперкомпьютерного центра Южно-Уральского государственного университета. Детали реализации данного проекта описаны в статье [19].

В качестве дальнейших направлений работы можно выделить следующие: внедрение возможности отладки разрабатываемых CAE-проектов в систему CAEBeans Constructor; проведение комплексного тестирования разработанной системы и переход от прототипов предложенных компонентов к полнофункциональным образцам; анализ масштабируемости системы; исследование возможных подходов интеграции ресурсов, предоставляемых системой CAEBeans, и сторонних грид-служб.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям (контракт 2007-4-1.4-20-01-026), программы СКИФ-ГРИД (контракт СГ-1/07) и Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (грант 7434).

Список литературы

1. Бегунов А.А. Применение результатов моделирования для оптимизации и управления технологическими процессами // Параллельные вычислительные технологии: Тр. Междунар. науч. конф. (28 янв. – 1 февр. 2008 г., г. Санкт-Петербург). 2008. С. 31–38.

2. Foster I., Kesselman C. The Grid 2: Blueprint for a New Computing Infrastructure. Second edition. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2003. 750 p.

3. Foster I., Kesselman C., Tuecke S. The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations // International J. of Supercomputer Applications and High Performance Computing. 2001. V. 15, No 3. P. 200–222.

4. Лукичев А.С. Интеграция SOA- и классических высокопроизводительных приложений // Научный сервис в сети Интернет: технологии распределенных вычислений: Труды Всероссийск. науч. конф. (18–23 сентября 2006 г., г. Новороссийск). М.: Изд-во МГУ, 2006. С. 42–44.

5. UNICORE: A Grid Solution for Your Buisness. URL: http://www.unicore.eu/documentation/files/UNICORE-Brochure-V2-0.pdf. 2006. 16 p.

6. Krüger M. Grid Computing & UNICORE. URL: http://www.be.itu.edu.tr/news/grid_atolye/UNICORE Introduction.pdf. 2006.

7. Радченко Г.И. Технология построения проблемно-ориентированных иерархических оболочек над инженерными пакетами в грид-средах // Системы управления и информационные технологии. 2008. № 4(34). С. 57–61.

8. Радченко Г.И., Соколинский Л.Б. CAEBeans: иерархические системы структурированных проблемно-ориентированных оболочек над инженерными пакетами// Научный сервис в сети Интернет: многоядерный компьютерный мир. 15 лет РФФИ: Труды Всероссийск. науч. конф. (24–29 сентября 2007 г., г. Новороссийск). М.: Изд-во МГУ, 2007. С. 54–57.

9. Радченко Г.И., Дорохов В.А., Насибулина Р.С. и др. Технология создания виртуальных испытательных стендов в грид-средах // Вторая Международная научная конференция «Суперкомпьютерные системы и их применение» (SSA'2008): Доклады конференции (27–29 октября 2008 года, Минск). Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2008. С. 194–198.

10. Радченко Г.И. Методы организации грид-оболочек системного слоя в технологии CAEBeans // Вестник ЮУрГУ. Серия Математическое моделирование и программирование. № 15 (115). Вып. 1. 2008. С. 69–80.

11. Рамбо Дж., Блаха М. UML 2.0. Объектно-ориентированное моделирование и разработка. 2-е изд. СПб.: Питер, 2007. 544 с.

12. Насибулина Р.С., Репина К.В., Шамакина А.В. и др. Методы организации программных интерфейсов к инженерным пакетам в среде GPE // Параллельные вычислительные технологии: Тр. Междунар. науч. конф. (28 янв. – 1 февр. 2008 г., г. Санкт-Петербург). 2008. С. 537.

13. Радченко Г.И., Соколинский Л.Б., Шамакина А.В. Разработка компонентно-ориентированных CAEBean-оболочек для пакета ANSYS CFX // Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2008): Труды Международной научной кон-

ференции (28 января 1 февраля 2008 г., г. Санкт-Петербург). Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. С. 438–443.

14. Foster I., Kesselman C., Nick J.M., Tuecke S. The Physiology of the Grid: An Open Grid Services Architecture for Distributed Systems Integration. URL: http://www.globus.org/alliance/publications/papers/ogsa.pdf. 2002.

15. Бабу С. Что такое WSRF. Часть 1: Использование WS-ResourceProperties. URL: http://www.gridclub.ru/library/publication. 2005-10-17.1342842216/view. 2004. 44 с.

16. Foster I. et al. Modeling Stateful Resources with Web Services URL: http://www-106.ibm.com/developerworks/library/ws-resource/ws-modelingresources.pdf. 2004.

17. UNICORE Team. Installation and Configuration of UNICORE 6. URL: http://www.unicore.eu/documentation/manuals/unicore6/files/Installation_UNICORE6.pdf. 2008.

18. Шамакина А.В. Организация брокера ресурсов в системе CAEBeans // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия Математическое моделирование и программирование. 2008. № 27 (127). Вып. 2. С. 110–116.

19. Дорохов В.А. Разработка виртуального испытательного грид-стенда для исследования эффекта овализации труб при термической обработке // Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2009): Труды Международной научной конференции (Нижний Новгород, 30 марта – 3 апреля

CAEBeans GRID-SYSTEM: INTEGRATION OF CAE SYSTEM RESOURCES IN DISTRIBUTED COMPUTING ENVIRONMENTS

G.I. Radchenko

Basic principles of the CAEBeans system implementation are considered. The system serves to form and support the distributed computing environment for CAE simulation and analysis. A classification of CAEBeans users and a description of CAEBeans basic entities and components are given. Some aspects of interaction between the system components in the course of engineering task statement and solution are considered.

Keywords: CAEBeans, virtual testbeds, grid, problem-oriented shells, CAE, workflow, UNICORE.

2009 г.) Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. С. 457–462.