

УДК 004.021

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ
ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ****С.В. Марьин, А.В. Ларченко, С.В. Ковальчук, К.В. Князьков, Е.В. Болгова, А.В. Бухановский**

Рассматривается задача обеспечения поддержки высокопроизводительных вычислений в области компьютерного моделирования, выполняемых на базе композитных распределенных приложений.

Ключевые слова: распределенные вычисления, композитное приложение, компьютерное моделирование.

В отличие от классических «больших» [1] задач компьютерного моделирования (например, расчета трехмерных течений вязкой жидкости в сложной геометрической конфигурации), проблема создания распределенных предметно-ориентированных приложений моделирования сложных систем не сводится только к разработке оптимальных (для заданной архитектуры) параллельных алгоритмов и их реализации. Принципиальной проблемой является интеграция уже существующих и вновь разработанных программных модулей в единый комплекс. В отличие от традиционных подходов для создания композитных бизнес-приложений (например, на основе сервис-ориентированной архитектуры, Service-Oriented Architecture – SOA), в данном случае основная проблема состоит в том, что результатом интеграции должно являться не только обеспечение функциональных характеристик (решение задачи), но и достижение при этом максимальной параллельной производительности. В частных случаях, при ограниченном числе программных компонентов и заданном сценарии вычислений оптимальная статическая архитектура такого комплекса может быть разработана вручную. Однако вопрос остается открытым для систем с динамической архитектурой, например, проблемно-ориентированных оболочек компьютерного моделирования (Problem-Solving Environment – PSE) [2]. В таких оболочках пользователь имеет возможность вызывать отдельные вычислительные предметно-ориентированные модули, строить на их основе вычислительные цепочки и отправлять их на выполнение на высокопроизводительные вычислительные системы. Предметно-ориентированные модули в данном случае обычно бывают разработаны различными специалистами, реализуют разные принципы распараллеливания, написаны на различных языках программирования и функционируют на удаленных системах принципиально различной архитектуры. Потому построение оптимального с точки зрения производительности сценария исполнения вычислительной цепочки является нетривиальной задачей (в существующих системах она обычно отдается на откуп самому пользователю).

Таким образом, актуальной представляется задача развития подходов, методов и технологий, позволяющих проектировать и разрабатывать программные приложения, эффективно функционирующие в распределенных вычислительных средах с неоднородной иерархической архитектурой применительно к задачам компьютерного моделирования сложных систем. С практической точки зрения полученные в ходе исследования результаты позволят создать среду автоматизации процесса разработки – интеллектуальную программную оболочку, предоставляющую разработчику не только инструментарий, но и формализованные знания в области создания распределенных предметно-ориентированных программных комплексов. Наличие такой среды создаст стимул для развития соответствующих приложений в новых предметных областях, позволит существенно сократить время их разработки и отладки, а также обеспечить эффективную загрузку высокопроизводительных вычислительных ресурсов (суперкомпьютеров, связанных высокоскоростной сетью), имеющихся на настоящий день в вузах и не загружаемых на полную мощность не в силу отсутствия задач, а по причине отсутствия инструментария для их реализации.

Решение данной задачи предполагает симбиотическое направление исследований на стыке информационных технологий и предметно-ориентированного компьютерного моделирования. Его квинтэссенция состоит в том, что для достижения эффективности параллельных вычислений недостаточно только уповать на возможности сверхмощных вычислительных систем и глубинные средства исследования и оптимизации программ. Высокая производительность является следствием совокупного учета специфики предметной области, особенностей применяемых моделей, методов и алгоритмов, а также архитектурных особенностей вычислительных систем и технологий программирования. Проблема сочетания знаний из столь различных областей, по-видимому, на данном этапе может быть решена лишь на основе их отчуждения, обобщения и использования посредством интеллектуальных технологий.

В ходе выполнения исследования по данному направлению разработан экспериментальный образец интеллектуальной инструментальной оболочки (ИИО) для разработки композитных приложений моделирования сложных систем. С точки зрения интеллектуальных технологий такая оболочка является аналогом известного класса оболочек-инструментов для создания экспертных систем. Однако, в отличие от систем общего вида, данная инструментальная оболочка должна обеспечить решение только двух классов задач:

- интеллектуальная поддержка пользователя по выбору, сопряжению и использованию компонентов в составе композитного приложения (режим советующей системы);
- обеспечение эффективного исполнения композитного приложения на распределенной иерархической неоднородной вычислительной архитектуре без целенаправленного участия пользователя (режим системы автоматического управления).

Экспериментальный образец ИИО включает в себя семь базовых подсистем, а именно: подсистемы управления знаниями (ПУЗ), логического вывода (ПЛВ), человеко-компьютерного взаимодействия (ПЧКВ), управления распределенными платформами (ПУРП), хранения данных (ПХД), информационного портала (ПИП), управления инфраструктурой (ПУИ). Основные компоненты подсистем реализуются как независимые web-сервисы, взаимодействующие в распределенной среде. Пользовательское описание композитного приложения в ИИО, интерпретируемое посредством ПЧКВ, формулируется на проблемно-ориентированном языке (Domain-Specific Language – DSL) EasyFlow; при этом пользователю предоставляется возможность работы как с текстовой, так и с графической нотацией, допускающими преобразование друг в друга. Интерпретацию описания композитного приложения в исполнимую форму выполняет ПЛВ на основе детерминированных правил, описывающих способы использования прикладных сервисов, осуществляемого путем обхода соответствующей комплексной онтологии, доступ к которой выполняется посредством ПУЗ. При запуске композитного приложения на конкретных вычислительных ресурсах в рамках ПУРП решается задача распределения нагрузки в условиях неопределенности (стохастичности) и неполноты исходной информации о функционировании распределенной среды. При этом ПУИ, играя координирующую роль, реализует функции маршрутизации сообщений между отдельными подсистемами ИИО и поддержки ПУРП за счет расширенных средств мониторинга доступных вычислительных ресурсов. Важную роль в концепции организации рабочей среды для пользователя, заинтересованного в применении ИИО, играет ПИП, интегрирующая основные информационные и технологические сервисы, к которым относятся: сервисы взаимодействия с ПЧКВ, ПХД и ПУИ; сервисы поддержки совместной работы и коммуникации в рамках профессионального виртуального сообщества; сервисы представления структурированной и каталогизированной базы справочной информации, в свою очередь ассоциированной с соответствующими элементами других подсистем ИИО.

Экспериментальный образец ИИО развернут на стенде, реализующем две модели организации распределенных вычислений – метакомпьютинга и Грид. Экспериментальные исследования функциональных характеристик ИИО продемонстрировали, что накладные расходы (по времени), связанные с использованием ИИО для запуска композитных приложений, на порядок ниже собственных накладных расходов, обусловленных функционированием существующих Грид-сред. Разрабатываемая ИИО может эффективно применяться как надстройка над низкоуровневой распределенной Грид-средой, не приводя к возникновению ощутимых дополнительных нагрузок на ее вычислительную инфраструктуру.

Работа выполнена в рамках проектов «Интеллектуальные технологии распределенных вычислений для моделирования сложных систем» (государственный контракт №П469) и «Инструментальная среда для построения композитных приложений моделирования сложных систем» (государственный контракт №П1386) реализуемых при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

1. Воеводин Вл.В. Решение больших задач в распределенных вычислительных средах // Автоматика и телемеханика. – 2007. – № 5. – С. 32–45.
2. Rice J.R., Boisvert R.F. From Scientific Software Libraries to Problem-Solving Environments // IEEE Computational Science & Engineering. – 1996. – V. 3. – № 3. – P. 44–53.

Марьян Сергей Владимирович – НИИ наукоемких компьютерных технологий СПбГУ ИТМО, аспирант, igorlitmo@rambler.ru

Ларченко Алексей Викторович – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, aleksey.larchenko@gmail.com

Ковальчук Сергей Валерьевич – НИИ наукоемких компьютерных технологий СПбГУ ИТМО, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, kovalchuk@mail.ifmo.ru

Князьков Константин Валерьевич – НИИ наукоемких компьютерных технологий СПбГУ ИТМО, аспирант, constantinvk@gmail.com

Болгова Екатерина Владимировна – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, katerina.bolgova@gmail.com

Бухановский Александр Валерьевич – НИИ наукоемких компьютерных технологий СПбГУ ИТМО, директор, доктор технических наук, avb_mail@mail.ru