

© 2012 г. Г.А. ОПАРИН, д-р техн. наук
А.Г. ФЕОКТИСТОВ, канд. техн. наук
Э.К. ВАРТАНЯН

(Институт динамики систем и теории управления Сибирского отделения
Российской академии наук, Иркутск)

ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К СПЕЦИФИКАЦИИ МОДЕЛИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ КЛАСТЕРНОЙ СИСТЕМЫ

Рассматривается подход к спецификации объектных моделей кластерных проблемно-ориентированных распределенных вычислительных сред. Данный подход базируется на объектно-ориентированной модели данных.

AN OBJECT-ORIENTED APPROACH TO SPECIFICATION OF A MODEL OF THE INTEGRATED CLUSTER SYSTEM / G.A. Oparin, A.G. Feoktistov, E.K. Vartanyan (Institute for System Dynamics and Control Theory of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Lermontov str., 134, Post Box 292 664033, Irkutsk, Russia, E-mail: e.vartanyan@mail.ru). An approach to specification of object models of cluster problem-oriented distributed computing system is considered. This approach based on an object-oriented data model.

1. Введение

В настоящее время важным и практически значимым направлением научных исследований в области высокопроизводительных вычислений является организация проблемно-ориентированных распределенных вычислительных систем (РВС) различного назначения на основе *Grid*-технологий [1]. Сложность таких систем обуславливается их динамичностью и стохастичностью, наличием большого числа объектов различной природы и связей между ними, распределенностью этих объектов и избыточностью информационно-вычислительных ресурсов. В частности, кластерные РВС характеризуются следующими особенностями:

- в качестве узлов системы выступают вычислительные кластеры;
- кластеры организуются на базе как выделенных, так и невыделенных вычислительных машин, и, следовательно, существенно различаются по степени надежности своих вычислительных ресурсов;
- на разных уровнях интеграции системы существуют различные категории пользователей, в их числе пользователи, нуждающиеся в высокоуровневых средствах организации вычислительного процесса решения задачи;
- вычислительные кластеры используются пользователями системы совместно с владельцами этих кластеров;
- задание пользователя представляет собой спецификацию процесса решения задач, содержащую информацию о требуемых вычислительных ресурсах, исполняемых

прикладных программах, входных/выходных данных, а также другие необходимые сведения;

- множество заданий пользователей рассматривается с точки зрения теории очередей и представляется в виде совокупности потоков заданий с приоритетами;
- поток заданий характеризуется следующими свойствами: динамичностью, стохастичностью, неоднородностью, отсутствием обратной связи, неординарностью, стационарностью;
- свободных ресурсов системы недостаточно для одновременного обслуживания всех заданий, находящихся в очередях;
- в рамках системы функционируют распределенные проблемно-ориентированные программные комплексы, размещенные в ее узлах;
- в общем случае в системе имеется программно-аппаратная вычислительная избыточность (программа может быть размещена и выполнена в разных узлах системы, а одни и те же вычисления могут быть произведены с помощью различных программ);
- в системе нет единой политики администрирования вычислительных кластеров, на кластерах применяются различные принципы и механизмы обработки потоков заданий различных типов.

Для эффективного использования РВС такого рода требуются развитые средства описания, хранения, обработки и модификации знаний о ее инфраструктуре, а также о процессах планирования и проведения вычислений. Известные подходы к описанию и применению моделей РВС достаточно разнообразны (см., например, [2-5]) и не решают в полной мере вышеперечисленные проблемы.

В докладе рассматривается подход к спецификации объектных моделей кластерных проблемно-ориентированных РВС [6]. Обсуждаются аспекты реализации базы знаний для экспериментальной интегрированной кластерной системы (ИнКС) ИДСТУ СО РАН.

2. Представление знаний

В качестве модели РВС используется объектно-ориентированная модель данных, обладающая рядом важных свойств, необходимых для представления знаний о РВС. В частности, данная модель: позволяет работать со сложноструктурированными данными, отражать их природу и связи между ними; моделирует многомерную структуру данных, с которой в дальнейшем приложение может работать напрямую (доступ, поиск или изменение данных), что увеличивает производительность системы по отношению к реляционной модели; обладает гибкими средствами модификации и развития; поддерживает комплексирование по данным (представление объектов РВС в универсальном формате, позволяющем работать с ними различным предметно-ориентированным программным комплексам). База знаний (БЗ) РВС, реализованная на основе такой модели, обеспечивает целостность и безопасность информации в процессе извлечения объектов из БЗ для совместного с другими пользователями доступа к ним и облегчает работу с объектно-ориентированными приложениями. Перечислим основные характеристики объектной модели РВС:

- основным понятием в модели является объект;
- полная идентификация объекта (без привязки к конкретной БЗ) состоит из имени объекта и имени его типа;
- объект состоит из набора полей, задаваемых классом объекта;
- в качестве поля может выступать значение какого-либо типа (например, строка, число, ссылка на объект определенного класса) или символ неопределенности;

- каждому классу соответствует множество его объектов и список его полей;
- ссылки на объекты являются значениями специального типа, они служат для доступа к объектам, на которые ссылаются;
- ссылки создаются одновременно с созданием объектов, на которые они впоследствии ссылаются;
- различаются два вида ссылок на объект: простые ссылки, указывающие на один объект, и так называемые множественные ссылки, способные указывать сразу на несколько объектов;
- внешнее значение ссылки представляется как имя (или имена) указываемого объекта (или объектов);
- с помощью аппарата ссылок реализуются следующие виды отношений между объектами: «один-к-одному», «многие-к-одному», «один-ко-многим» и «многие-ко-многим»;
- специальное поле в объекте отводится для хранения имени объекта;
- множественные виды отношений (все из перечисленных выше, кроме «один-к-одному») строятся на основе списков;
- списки являются объектами специального класса, они служат для объединения совокупности объектов и получения возможности ссылки ко всем этим объектам, как к единому целому;
- списки обладают специальным полем, в котором хранится длина списка;
- возможные изменения модели данных определяются фиксированным набором базовых операторов;
- базовые операторы могут быть объединены в составной оператор, причем один составной оператор может быть частью другого составного оператора;
- типы и некоторые классы являются изначально встроенными в модель данных;
- смысловая нагрузка класса объектов находит свое отражение через указание возможности участия объектов данного класса в качестве параметров определенных операторов (базовых или составных) с пояснением роли их участия (входные, выходные);
- знания предметного специалиста об условиях применения объекта того или иного класса в процессе вычислений представляются в виде набора продукций, которые так же являются объектами определенного класса модели.

Модель РВС включает в себя следующие базовые элементы: множество базовых типов данных T , множество классов объектов модели РВС C , множество атрибутов A и множество значений атрибутов V . Класс представляет собой совокупность объектов, одинаковых с точки зрения решения решаемой задачи. Каждый класс обладает набором характеристик, называемых атрибутами. Тип – отличительная особенность атрибута. Данные, связанные с атрибутом и необходимые для решения задачи, являются значением этого атрибута. Экземпляр класса (объект) – элемент некоторого класса. Связи между элементами множеств T , C , A и V заданы отношениями $R^{AT} \subseteq A \times T$, $R^{CA} \subseteq C \times A$ и $R^{AV} \subseteq A \times V$. Через R обозначим множество всех ограничений – стандартных условий обеспечения целостности данных, таких как условия блокировки дублирования и уничтожения элементов модели, а также ограничений, отражающих специфику предметной области – свойства и семантику ее объектов и взаимосвязей между ними. В их числе такие отношения, как иерархия модулей, формальные параметры модуля, тело модуля, модуль задачи, составные параметры, массивы-границы, признаки, динамический параметр, составные операции, параметры операции, модуль операции, операция задачи, приоритет и условие продукции, тело продукции, операции процессора, параметры

процессора, продукции процессора, цепочка операций, параметры задачи, постановки задач процессора, иерархия задач, параметры уравнения, уравнения для операции, уравнения для продукции, иерархия уравнений, варианты значений параметров и другие.

3. Неформальная постановка задачи

Для представления знаний об интегрированной кластерной системе и их использования различными предметно-ориентированными программными комплексами, возникает необходимость разработки средств спецификации объектно-ориентированной модели этой системы и представления ее в некотором унифицированном и стандартизированном формате.

4. Язык спецификации модели

Рассматриваемый язык спецификации модели – М-язык, относится к языкам описания онтологий [7], основанных на вычислительных моделях (частном случае семантических сетей). М-язык состоит из набора базисных символов Σ , из которых строится описание модели РВС, и множества операторов Φ . Набор базисных символов М-языка Σ включает символы входного алфавита, константы, имена операторов, специальные символы. Операторы специфицируют операции создания, изменения, удаления и инициализации элементов множеств C , A и V , а также отношений между ними. В качестве операндов используются элементы из объединения множеств C , A и V . Контроль выполнения операторов осуществляется путем задания множества ограничений R на области допустимых значений операндов этих операторов.

Таким образом, описание модели РВС на М-языке представляет собой последовательность операторов, разделенных между собой специальными символами. На рис. 1 приведен пример спецификации вычислительных и продукционных знаний. В качестве вычислительных знаний выступают параметры $z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6$ и операции f_1, f_2, f_3 . Продукционные знания представлены конструкцией вида: IF z_6 THEN f_1 . Данная продукция задает правило выполнения операции f_1 .

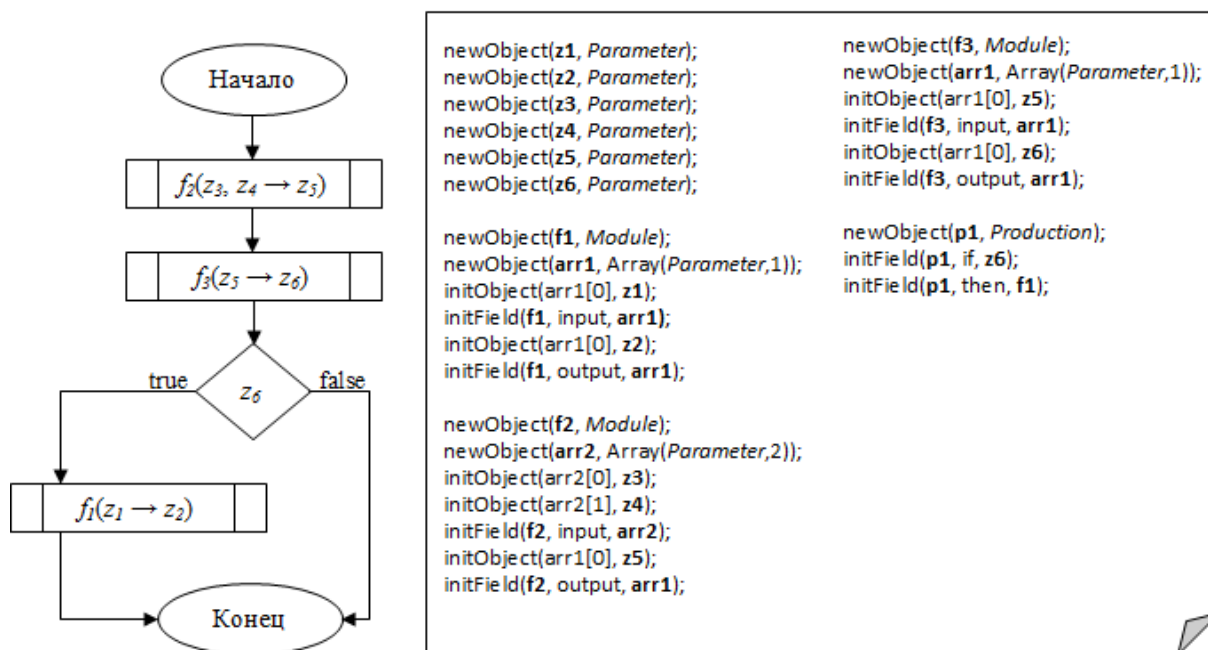


Рис. 1. Фрагмент описания модели РВС

Синтаксис и семантика описания модели РВС на М-языке проверяются в процессе трансляции.

5. Язык задания ограничений целостности модели

Ограничения формируются разработчиком с помощью специального инструментального компонента транслятора в интерактивном режиме. Для задания ограничений используется диалоговый Д-язык. Данный язык включает следующие основные формы: форму задания диапазона допустимых значений атрибута; форму задания кардинальных чисел двух множеств, характеризующих число элементов одного множества, связанных с элементами другого множества и наоборот; форму задания требования принадлежности элемента определенному множеству; форма задания требования на отношения двух множеств. Каждое ограничение имеет уникальный идентификатор. Ограничение на значение операнда может быть сопоставлено определенному оператору $\phi \in \Phi$. В этом случае оно будет активизировано применительно только к оператору ϕ . В противном случае ограничение будет распространяться на все операторы, в списках операндов которых есть данный операнд.

6. Семантика языковых средств

Выполнение оператора $\phi \in \Phi$ обуславливает переход из некоторого текущего состояния модели, определяемое структурой $s = \langle T, C, A, V, R^{AT}, R^{CA}, R^{AV} \rangle$, в новое результирующее состояние s' . Таким образом, последовательность выполнения операторов задает конечную последовательность переходов из начального состояния модели в конечное. Динамику изменения состояний модели можно определить в виде графа переходов $G = \langle S, L, Q, S_0 \rangle$, где S – множество состояний модели, L – множество формальных условий выполнимости операторов (условий выполнимости ограничений для каждого из их операндов), $Q \subseteq S \times S$ – отношение переходов, S_0 – множество начальных состояний модели. Последовательность переходов считается корректной, если из выбранного начального состояния $s_0 \in S_0$ достижимо требуемое целевое состояние.

7. Технология создания базы знаний

В качестве основы базы знаний ИнКС используется объектно-ориентированная база данных NeoDatis [8], дополненная управляющей надстройкой – мультиагентной системой планирования и распределения ресурсов [9]. Характеристики базы данных NeoDatis удовлетворяют основным требованиям стандарта ODMG (Object Database Management Group) [10], и, тем самым, обеспечивают возможность ее интеграции с различными предметно-ориентированными комплексами, функционирующими в ИнКС.

С помощью транслятора текст описания модели ИнКС на М-языке и соответствующие ограничения модели на Д-языке преобразуются в текст описания на языке Java, который с помощью Java-компилятора транслируется в байт-код. Для компиляции текста описания в байт-код наряду со стандартной библиотекой классов JDK (Java Development Kit) используется дополнительная библиотека классов, обеспечивающая работу с базой данных NeoDatis. При выполнении байт-кода Java-интерпретатором создается база данных, которая вместе с подсистемой логического вывода мультиагентной системы

формирует базу знаний ИнКС. Схематично технология создания базы знаний ИнКС представлена на рис. 2.

8. Примеры решаемых задач

В качестве примеров применения представленных в докладе результатов ниже рассматривается ряд практически важных задач.

Комплексное моделирование интегрированной кластерной системы. Автоматизированный процесс комплексного моделирования интегрированной кластерной системы и использования его результатов включает следующие основные этапы: построение агрегированной концептуальной модели кластерной системы; создание на ее основе имитационной модели интегрированной кластерной системы; проведение многовариантных имитационных экспериментов в распределенной вычислительной среде; обобщение и анализ результатов имитационного моделирования; проверку результатов имитационного моделирования путем проведения полунатурных испытаний интегрированной кластерной системы; настройку конфигурационных параметров систем управления распределенными вычислениями (в том числе и интеллектуальных агентов) в интегрированной кластерной системе, с целью повышения показателей надежности этой системы. Использование результатов испытаний и оценки надежности интегрированной кластерной системы в процессе управления распределенными вычислениями [9, 11, 12], позволяет существенно уменьшить такие показатели ее функционирования, как число незавершенных (из-за сбоя ВУ) заданий, число рестартов программ, общее время выполнения набора взаимосвязанных заданий, а также повысить коэффициент полезной загрузки ресурсов системы



Рис. 2. Схема создания базы знаний ИнКС

Классификация заданий. Суть классификации заданий заключается в их разбиении на классы в зависимости от вычислительных характеристик этих заданий. С каждым классом заданий связываются вычислительные ресурсы интегрированной кластерной системы, наиболее подходящие для выполнения заданий данного класса. Применение классификатора заданий в процессе распределения заданий совместно с

метапланировщиком заданий интегрированной кластерной системы ИДСТУ СО РАН позволило повысить коэффициент полезного использования узлов системы приблизительно на 4-4,5 %. Использование классификатора заданий в процессе распределения многовариантных заданий в ряде случаев обеспечило так же уменьшение время их выполнения.

Комплексирование пакетов прикладных программ. Комплексирование по данным обеспечивает возможность использования в процессе создания нового пакета фрагментов описания предметных областей, функциональных программных модулей, исходных данных и результатов вычислений, имеющих в других пакетах. Комплексирование осуществляется по данным, относящимся к объектам, созданным на базе ядра модели. В качестве примера можно привести комплексирование двух пакетов для моделирования торгово-складских комплексов [13]: пакета прогнозирования процесса сдачи складских объектов в аренду R-SIM (Rent-SIMulation) и пакета анализа фондоемкости торгово-складских услуг Warehous Modelling Package (WMP).

9. Заключение

В целом в работе представлены результаты исследований, базирующихся на накопленных в ИДСТУ СО РАН знаниях в области создания и применения вычислительных моделей для решения фундаментальных и прикладных задач. В рамках рассмотренного в докладе подхода обеспечивается возможность конструировать предметно-ориентированные модели вычислений для интегрированных кластерных систем, обеспечивать открытый, унифицированный доступ к этим моделям из различных приложений, осуществлять интеграцию разрабатываемых инструментальных средств и создаваемых с их помощью предметно-ориентированных программных комплексов на основе единой модели вычислений. Такие модели обеспечивают детализированное описание инфраструктуры разнородных распределенных вычислительных сред, его расширение и модификацию. Тем самым, предоставляется возможность эффективного использования ресурсов этих сред в процессе решения сложных научных и прикладных задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Baker M., Buyya R., Laforenza D.* Grids and Grid Technologies for Wide-Area Distributed Computing // *Software: Practice and Experience*. – 2002. – V. 32. – № 15. – P. 1437-1466.
2. *Chapin S.J., Cirne W., Feitelson D.G. and al.* Benchmarks and Standards for the Evaluation of Parallel Job Schedulers // *Job Scheduling Strategies for Parallel Processing*. Springer-Verlag, Lect. Notes Comput. Sci. 1999. V. 1659. P. 66-89.
3. *Топорков В.В.* Модели распределенных вычислений. – М.: Физматлит, 2004. – 320 с.
4. *Самоваров О.И., Кузюрин Н.Н., Грушин Д.А., Аветисян А.И., Михайлов Г.М., Рогов Ю.П.* Проблемы моделирования GRID-систем и их реализации // *Научный сервис в сети Интернет: решение больших задач: Тр. Всерос. науч. конф.* – М.: Изд-во МГУ, 2008. – С. 83-88.
5. *Vidyarathi D.P., Sarker B.K., Tripathi A.K., Yang L.T.* Scheduling in Distributed Computing Systems: Analysis, Design and Models. Springer Science+Business Media, 2009. – 295 p.
6. *Опарин Г.А., Феоктистов А.Г.* Модели и инструментальные средства организации распределенных вычислений // *Параллельные вычисления и задачи управления: Тр. IV Междунар. конф.* – М.: Изд-во ИПУ РАН, 2008. – С. 1126-1135.
7. *Латшин В.А.* Онтологии в компьютерных системах. – М.: Научный мир 2010. – 224 с.

8. NeoDatis [Электронный ресурс] // NeoDatis – сайт. – URL: <http://neodatis.wikidot.com>. (Дата обращения: 14.09.2012).
9. *Бычков И.В., Опарин Г.А., Феоктистов А.Г., Корсуков А.С.* Децентрализованное управление потоками заданий в интегрированной кластерной системе // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. – 2011. – Т. 9. – Вып. 2. – С. 42-54.
10. *Джордан Д.* Обработка объектных баз данных в C++. Программирование по стандарту ODMG. – М.: Вильямс. – 2001. – 384 с.
11. *Бычков И.В., Корсуков А.С., Опарин Г.А., Феоктистов А.Г.* Инструментальный комплекс для организации гетерогенных распределенных вычислительных сред // Информационные технологии и вычислительные системы. 2010. № 1. С. 45-54.
12. *Корсуков А.С.* Инструментальные средства полунатурного моделирования распределенных вычислительных систем // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2011. № 3 (31). С. 105-110.
13. *Башарина О.Ю., Горский С.А.* Пакет моделирования складской логистики: разработка и комплексирование в Orlando Tools // Программные продукты и системы. – 2012. – № 1. – С. 89-91.