

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕМАНТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОБНАРУЖЕНИЯ GRID-РЕСУРСОВ

*Афонин С.А., к.ф.-м.н., в.н.с., serg@msu.ru
Голомазов Д.Д., м.н.с. denis.golomazov@gmail.com
НИИ механики им. М.В. Ломоносова, тел. 9395306.*

Аннотация

Поиск доступных для удаленного использования приложений и сервисов составляет важный этап процесса построения композитных распределенных информационных систем. Настоящая работа посвящена частному случаю этой задачи, а именно – задаче обнаружения ресурсов в Grid-системах. В работе представлен краткий обзор существующих решений и предлагается метод обнаружения ресурсов, основанный на формальном семантическом описании прикладных задач, которые решаются с помощью Grid-сервисов.

1 Введение

В процессе проектирования приложений системные архитекторы стоят перед вопросом выбора готовых для использования компонент, решающих отдельные задачи разрабатываемого приложения. Наличие большого числа прикладных систем, доступных как для удаленного использования, так и распространяемых в виде автономных программных комплексов и библиотек, значительно осложняет выбор доступного приложения, наиболее точно соответствующего требованиям создаваемой системы. В области Grid-вычислений задача становится еще более сложной, так как подобный поиск необходимо проводить в процессе выполнения приложения, поскольку доступные сервисы динамически добавляются и удаляются из вычислительной среды. Задача обнаружения ресурсов (Resource Discovery) является важной и для работы Grid-систем в целом. Люди и организации, создающие сервисы, заинтересованы в том, чтобы пользователи находили и использовали их. Они хотят присоединиться к Grid-инфраструктуре как поставщики ресурсов. Для

этого им нужно оповестить пользователей о том, что у них имеется сервис с определенными характеристиками. В рамках Grid-системы эту задачу призвана решать служба обнаружения ресурсов, которая предоставляет пользователям Grid информацию о доступных сервисах, включая интерфейс доступа к сервису, метод доступа, имена функций, параметров и возвращаемых значений, а также его краткое описание, как правило заданное на естественном языке.

Рассмотрим возможный сценарий поиска ресурсов при решении научных задач. Будем предполагать, что ученый, использующий подобный сервис, является специалистом в своей предметной области, но не является экспертом в области информационных технологий. Его цель — построение программного комплекса, решающего его прикладную задачу, в максимальной степени используя для этого уже существующие сервисы и приложения. Возможная последовательность его действий может включать следующие этапы: *составление общего плана решения* прикладной задачи и ее декомпозиция на отдельные подзадачи; *поиск существующих сервисов*, решающих отдельные подзадачи или их части; *разработка* недостающих сервисов; *компоновка* программного комплекса. Такой процесс может носить итерационный характер. В результате анализа множества доступных сервисов (который включает анализ как их алгоритмической части, то есть возможность применения реализованных алгоритмов, так и аппаратной части, например, наличие достаточного количества ресурсов) может возникнуть необходимость изменения первоначального плана решения прикладной задачи.

Наибольшую сложность представляет вопрос поиска существующих сервисов, которые могут быть использованы при решении прикладной задачи. Процедура его решения разделяется на *описание* сервисов, *распространение* этой информации и на реализацию собственно *поиска*. Для решения задачи обнаружения Grid-ресурсов необходимо описывать сервисы с помощью такого формата метаданных, который позволяет специфицировать указанную выше информацию. Одним из наиболее перспективных подходов к решению задачи описания и поиска Grid-ресурсов является подход, основанный на использовании семантических технологий, который в литературе принято именовать как *Semantic Grid* [4]. В рамках подхода для спецификации характеристик сервиса используются онтологии. Отметим, что работы, посвященные применению семантических технологий для решения рассматриваемой задачи, в основном нацелены

на формальное описание интерфейса доступа к нему и технических параметров вычислительного узла, на котором он работает. Публикаций, посвященных семантическому описанию *назначения* сервиса, то есть спецификации вычислительной задачи, которую он решает, авторам найти не удалось. В настоящей публикации предлагается идея расширения подхода *Semantic Grid*, которая заключается в применении семантических технологий для формального описания *задачи*, для решения которой предназначен сервис. Формальные содержательные описания сервисов с помощью онтологий позволят существенно расширить возможности поиска Grid-ресурсов.

Дальнейшее изложение материала имеет следующую структуру. Вторая часть работы посвящена краткому обзору существующих служб поиска Grid-сервисов. Третья часть состоит из общего описания подхода *Semantic Grid*. Четвертая часть работы посвящена предлагаемому авторами расширению подхода *Semantic Grid* в сторону семантического описания назначения Grid-сервисов.

2 Методы описания и поиска Grid-ресурсов

Службы поиска Grid-ресурсов можно разделить на два класса: распределенные службы, которые не имеют выделенного сервера для размещения информации о доступных ресурсах, и централизованные каталоги. Наибольшее распространение получили децентрализованные системы.

В проекте TeraGrid [5] сформулированы основные требования, которыми должна удовлетворять информационная система обнаружения и поиска Grid-ресурсов.

- Информация в системе должна быть актуальнее документации сервиса. По опыту участников проекта, задержка между изменением сервисов и соответствующим обновлением документации может достигать нескольких месяцев.
- Участники сети должны иметь контроль над информацией о своих ресурсах. Сопровождение централизованной базы данных представляет существенные трудности.
- Система описания ресурсов должна допускать внесение данных, отражающих специфику ресурса. Незначительное число полей описания позволяет удовлетворить потребности многих

пользователей, однако пользователи часто запрашивают специальную информацию.

- Для выполнения некоторых операций необходима авторизация пользователей (например, для просмотра очереди заданий своего сервиса).
- Необходима поддержка широкого набора протоколов (WS/SOAP, WS/REST) и форматов (HTML, XML, CSV, JSON).

Далее рассматриваются две наиболее распространенные децентрализованные системы описания ресурсов: MDS и OCCI.

Monitoring and Discovery Service (MDS) [3] – это технология обнаружения и мониторинга ресурсов и сервисов, использовавшаяся в инструментальном комплексе Globus Toolkit 4. Система MDS состоит из индексов сервисов, организованных в иерархическую структуру. Для включения в каталог создатель сервиса запускает индекс-сервис, который распространяет информацию о ресурсе и сервисе другим индекс-сервисам. Постепенно информация стекается в главный индекс-сервис. Заметим, что MDS использует модель, включающую и ресурсы, и сервисы (как атрибуты ресурсов). В качестве формата хранения и передачи данных используется XML. В случае, когда доступ к сервисам осуществляется по протоколу HTTP, в заголовках ответа может передаваться дополнительная информация о сервисе, в частности, характеристики ресурса, на котором он работает. Основными достоинствами MDS являются четкая формальная модель и большой набор функциональных возможностей (например, поиск сервисов). Главным недостатком MDS является сложность освоения и работы со службой. Отметим, что в разрабатываемом в настоящее время комплексе Globus Toolkit 5 отказались от использования MDS в пользу нового средства Integrated Information Service (IIS), поэтому перспективы этой технологии представляются туманными.

Open Cloud Computing Interface (OCCI) [6] – это сетевой протокол для управления облачной инфраструктурой. Данная технология является относительно новой. В отличие от MDS, протокол OCCI предоставляет только средство описания сервисов, не затрагивающее задачи индексации и каталогизации, которые необходимо решать отдельно. Основная идея подхода заключается в описании

сервиса в обычном HTML-файле, содержащем характеристики сервиса и ссылки на него. Метаинформация, например, свойства и характеристики сервиса, добавляется в виде значений специальных атрибутов тегов $\langle a \rangle$, таких как *rel*. Сочетание простоты и достаточно высоких выразительных возможностей является основным достоинством подхода ОССІ. Другим преимуществом ОССІ является тот факт, что HTML-страницы с описанием сервисов могут ссылаться на другие веб-страницы (и наоборот), попадая, тем самым, во Всемирную паутину. Это обстоятельство позволяет применять для обнаружения и классификации Grid-сервисов стандартные методы тематического анализа текстов, анализа ссылок и подобные им.

Главным недостатком технологии ОССІ является отсутствие каких-либо стандартов описания интерфейса сервисов. Эта особенность затрудняет их автоматический поиск, так как каждый автор сервиса может описать его интерфейс по-своему. В настоящее время внедрение технологии ОССІ находится на стадии, когда владельцы сервисов создают HTML-файлы, в которых описывают их и ссылаются на другие сервисы, но поисковых служб пока нет.

Отметим, что и в MDS, и в ОССІ существует техническая возможность задания произвольных значений атрибутов сервисов, однако нет никаких соглашений, кроме самых тривиальных, регулирующих методику классификации сервисов. По этой причине автоматический подбор сервисов на основе задач, которые они решают, при использовании рассмотренных систем в настоящее время в практическом смысле невозможен.

3 Семантический подход к решению задачи обнаружения и поиска Grid-ресурсов

Под *Semantic Grid* обычно понимают набор методов и алгоритмов, позволяющих производить поиск ресурсов с использованием формального описания их характеристик. В рамках этого подхода, например, в проекте UniGrids, выделяют три уровня онтологий, использующихся при поиске ресурсов [8]:

- base concepts – основные понятия Grid (ресурс, память, процессор);
- domain independent ontologies – понятия, относящиеся к той

или иной среде промежуточного уровня (Globus Toolkit, gLite, UniGrids);

- domain ontologies — понятия, характерные для конкретных реализаций Grid (TeraGrid, NorduGrid).

Примерами систем, использующих этот подход, являются *S-MDS* [7] и *S-OGSA* [2].

Семантические технологии дают ряд преимуществ при задании метаданных, их распространении и при организации поиска по ним. В работе [9] показывается, что полнота и точность выполнения запросов вида *найти все ресурсы, которые входят в виртуальную организацию X, имеют более 100 свободных процессоров, и на которых может быть запущено приложение Z* при использовании онтологий оказываются значительно выше, чем у традиционных систем обнаружения Grid-ресурсов. Например, если пользователь выполняет поиск ресурса под управлением операционной системы Linux, а службе MDS известно, что на некотором ресурсе установлен дистрибутив CentOS, то онтология может использоваться для автоматического логического вывода информации о том, что на этом ресурсе установлена операционная система Linux.

Отметим, что существуют инструментальные средства, позволяющие решать задачу совмещения требований приложения и ресурсов, например, MDS, Condor, Gridbus Broker и аналогичные им. Ни одно из них не поддерживает семантические технологии, а все алгоритмы используют поиск ресурсов по ключевым словам.

4 Поиск сервисов по их назначению

В большинстве работ, посвященных подходу *Semantic Grid*, основное внимание уделяется спецификации технических характеристик ресурсов. По мнению авторов, более широкие возможности для развития этого подхода открываются на направлении семантического описания именно *содержательной* стороны функционирования сервисов. В качестве обоснования этого утверждения рассмотрим следующий сценарий использования Grid-системы. Предположим, что исследователю, который занимается моделированием течения жидкости внутри объектов неправильной формы, необходимо численно решить дифференциальное уравнение в частных производных четвертого порядка вида $\Delta\Delta\varphi = 0$ (*бигармоническое уравнение*). Если

исследователь не знает, какой сервис ему наиболее подходит в данном случае, ему придется вручную просматривать каталог сервисов, посвященных решению дифференциальных уравнений, читать описание каждой службы и оценивать, может ли она решить это уравнение. Предположим, что в каталоге есть некоторый сервис a , в описании которого указано, что он реализует метод конечных элементов. Метод конечных элементов может использоваться для решения бигармонических уравнений на сложных областях. Поиск по таким параметрам, как частота процессора и объем оперативной памяти, который при условии наличия семантического описания *технической* стороны сервисов может быть осуществлен сравнительно легко, не поможет найти сервис a . Поиск по ключевым словам (например, по таким запросам, как *бигармоническое уравнение*, *дифференциальные уравнения четвертого порядка* или *течение жидкости в трубе*) также не позволит найти требуемый сервис.

Для автоматизированного подбора сервиса, решающего задачу пользователя, необходимо семантическое описание *содержательной* стороны функционирования Grid-служб. При наличии онтологии области знаний пользователь сможет ввести запрос *бигармоническое уравнение*, а система автоматически найдет это понятие в онтологии и, при необходимости, уточнит его у пользователя. При поиске могут дополнительно учитываться такие характеристики задачи, как требуемая гладкость решений, сложность области, однородность и другие. Поисковая система «знает», опираясь на формализованное описание предметной области с помощью онтологии (предметной областью в данном случае могут быть *численные методы*), что метод конечных элементов позволяет численно решать дифференциальные уравнения в частных производных высокого порядка на сложных областях. На основе этого знания она автоматически делает вывод, что сервис a способен решить бигармоническое уравнение четвертого порядка на области, заданной пользователем, и выводит этот сервис в результатах поиска, эффективно решая задачу автоматизированного подбора Grid-сервиса.

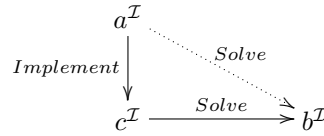
Приведем формальное описание рассмотренного выше примера на языке дескриптивной логики (см. например [1]). Пусть задана онтология $\mathcal{K} = \langle \mathcal{T}, \mathcal{A} \rangle$, которая содержит концепты *Method* — «метод решения задач», *Problem* — «задача», *GridService* — «Grid-сервис» и отношения *Solve* и *Implement*, где *Solve*(a, b) означает, что a решает задачу b , а *Implement*(a, b) означает, что a реализует метод b . Пусть

множество \mathcal{T} содержит утверждение $Implement \circ Solve \sqsubseteq Solve$, означающее, что сервис, реализующий метод, который решает некоторую задачу, сам решает эту задачу.

Пусть множество \mathcal{A} содержит следующие утверждения:

$$GridService(a), Problem(b), Method(c), Solve(c, b), Implement(a, c),$$

где a соответствует Grid-сервису, который реализует метод конечных элементов, b – задаче решения бигармонического уравнения, а c – методу конечных элементов. Пусть \mathcal{I} – интерпретация, являющаяся моделью онтологии \mathcal{K} . Рассмотрим ориентированный граф интерпретации \mathcal{I} , вершины которого соответствуют интерпретациям экземпляров онтологии, а ребра – отношениям между ними:



Сплошные ребра соответствуют отношениям, полученным на основании утверждений из множества \mathcal{A} . Пунктирное ребро было построено на основании утверждения из \mathcal{T} , из которого следует, что в множестве $Solve^{\mathcal{I}}$ должна содержаться пара $(a^{\mathcal{I}}, b^{\mathcal{I}})$, так как интерпретация \mathcal{I} является моделью онтологии \mathcal{K} .

Из формального описания, приведенного выше, следует, что по запросу пользователя *найти все сервисы, решающие бигармонические уравнения* будет найден сервис a , хотя в его описании отсутствуют слова *бигармонические уравнения*, а лишь написано, что сервис реализует метод конечных элементов. С помощью знания, заключенного в онтологии (*метод конечных элементов решает бигармонические уравнения*), этот сервис будет выдан в качестве результата поиска. Отметим, что поиск по ключевым словам не позволит добиться требуемого результата, если только пользователь не введет запрос вида *метод конечных элементов*. Использование механизмов логического вывода позволяет выполнять сложные аналитические запросы без необходимости ручного задания всех связей между объектами онтологии. Последнее обстоятельство выгодно отличает семантические технологии от традиционных инструментальных средств поиска по ключевым словам.

Для выполнения семантического поиска ресурсов необходимо создание онтологии области знания, включающей основные понятия,

задачи и методы их решения. Рассмотрим возможную структуру онтологии в области численных методов. Отметим, что численные методы решения физических и механических задач составляют значительную часть Grid-приложений. Такая онтология должна содержать описания численных методов решения основных задач алгебры, математического анализа, дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных. Например, конечный пользователь может выполнить поиск сервисов, реализующих алгоритмы численного решения уравнения теплопроводности. Разработчики сервисов могут опубликовать описания своих ресурсов, указав конкретные методы решения уравнений, например, схему Франкела–Дюфорта или схему Алена–Чена. Онтология позволяет автоматически определить, что уравнение теплопроводности является дифференциальным уравнением в частных производных параболического типа, а указанные численные методы могут использоваться для решения уравнений такого типа. После этого сервисы, реализующие эти методы, будут показаны пользователю.

Для реализации такой схемы необходимо иметь информацию об основных задачах в общей постановке в рамках рассматриваемой области знания, их частных случаях и методах решения как общих, так и частных задач.

5 Заключение

В настоящей работе предлагается использовать семантические технологии для описания *назначения* Grid-сервисов. С технической точки зрения эта идея не имеет препятствий, затрудняющих ее реализацию, так как широко распространенные службы поиска ресурсов (MDS и OCCI) позволяют задавать произвольные значения атрибутов сервисов. Для полноценной реализации предлагаемой концепции необходимо выполнить следующие шаги: (1) создать или выбрать существующую онтологию рассматриваемой области знания; (2) описать на ее языке сервисы в Grid-системе; (3) создать инструмент поиска ресурсов (например, в виде дополнительного модуля к MDS), использующий семантическую информацию при поиске. Отметим, что для решения последней задачи можно применить существующие технологии, предназначенные для работы с семантическими данными, например, язык запросов SPARQL, а также программные средства, созданные на основе этих технологий.

Работа выполнена при частичной поддержке грантом РФФИ № 09-07-00366-а.

Список литературы

- [1] CALVANESE, D., DE GIACOMO, G., LENZERINI, M., AND ROSATI, R. View-based Query Answering over Description Logic Ontologies. In *Proc. of the 11th Int. Conf. on the Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR 2008)* (2008), pp. 242–251.
- [2] CORCHO, O., ALPER, P., KOTSIPOULOS, I., MISSIER, P., BECHHOFFER, S., AND GOBLE, C. An Overview of S-OGSA: A Reference Semantic Grid Architecture. *Journal of Web Semantics* 4 (2006), 102–115.
- [3] CZAJKOWSKI, K., KESSELMAN, C., FITZGERALD, S., AND FOSTER, I. Grid information services for distributed resource sharing. In *hpdc* (2001), Published by the IEEE Computer Society, p. 181.
- [4] DE ROURE, D., JENNINGS, N. R., AND SHADBOLT, N. R. The semantic grid: Past, present, and future. *Proceedings of the IEEE* 93, 3 (2005), 669–681.
- [5] LIMING, L. et al. TeraGrid’s integrated information service. In *Proc. of Grid Computing Environments Workshop* (2009), ACM, 1–10.
- [6] METSCH, T., EDMONDS, A., AND NYRÉN, R. Open Cloud Computing Interface - Core, 2010.
- [7] PAHLEVI, S. M., AND KOJIMA, I. S-MDS: Semantic Monitoring and Discovery System for the Grid. *J. Grid Comput.* 7, 2 (2009), 205–224.
- [8] PARKIN, M., VAN DEN BURGHE, S., CORCHO, O., SNELLING, D., AND BROOKE, J. The knowledge of the grid: A grid ontology. In *Proceedings of the 6th Karkow Grid Workshop* (2006), M. Bubak, M. Turala, and K. Wiatr, Eds., pp. 111–118.
- [9] XING, W., CORCHO, O., GOBLE, C., AND DIKAIAKOS, M. D. An ActOn-based semantic information service for Grids. *Future Generation Computer Systems* 26, 3 (2010), 324–336.