

1. Введение в распределенные вычислительные системы

Область распределенных вычислительных систем в настоящее время характеризуется быстрыми темпами изменения идеологий и подходов. За короткую историю существования систем такого типа появилось множество различных парадигм реализации распределенных вычислений, набравших большой вес и общее признание, но практически исчезнувших впоследствии под давлением более новых и модных подходов. Однако когда технология исчезает из виду, очень часто она появляется вновь под новым именем. В результате происходит непрерывное перемешивание базовых концепций с новейшими подходами к разработке.

В середине 1990-х существовало два основных подхода к разработке распределенных вычислительных систем. С одной стороны, концепция *Веб* представляла собой ориентированное на человека распределенное информационное пространство. С другой стороны, *технологии распределенных объектов*, такие как CORBA [58] и DCOM [68] были в первую очередь ориентированы на создание распределенных сред, которые эмулировали процесс разработки и исполнения локальных приложений, обеспечивая преимущества доступа к сетевым ресурсам. Но, несмотря на первоначальную идею Веб как пространства, которое позволяло многим людям обмениваться информацией, большинство пользователей просто потребляли информацию, не публикуя ничего взамен. Между тем системы распределенных объектов росли с точки зрения предоставляемых возможностей, но становились все более тяжелыми в плане разработки и использования.

Сразу после начала нового тысячелетия произошел взрыв развития новых методов и *промежуточного программного обеспечения* для распределенных вычислительных систем, включая технологии *одноранговых сетей* (*peer-to-peer* или *P2P*) и *грид-технологии*. Применение P2P позволило множеству пользователей, которые раньше были простыми потребителями информации, поучаствовать в предоставлении контента. С другой стороны, применение технологии грид позволило интегрировать крупные комплексы обработки и хранения данных, обеспечивая их доступность для различных правительственных и научных пользователей. Концепция грид-вычислений была ориентирована на построение инфраструктуры, обеспечивающей «вычисления по требованию», аналогично тому, как мы сейчас получаем доступ к коммунальным услугам, например, к электричеству.

В то же время, бизнес-сообщество занялось разработкой следующего поколения спецификаций, призванных решить проблемы ранних стандартов распределенных объектных технологий посредством *Веб-сервисов* и *сервис-ориентированной архитектуры*. Слияние бизнес подхода к предоставлению вычислительных ресурсов в виде сервисов и концепции грид-вычислений привело к появлению в конце 2010-х новой концепции получившей название *Облачных вычислений*.

Далее в этой главе мы попытаемся дать определение распределенных вычислительных систем (РВС), рассмотрим их основы и базовые понятия.

1.1 Определение распределенной вычислительной системы

Формального определения распределенной вычислительной системы в настоящее время не существует. Из множества различных определений, можно выделить ироничное определение Лесли Лампорта¹ [44]:

«Распределенной вычислительной системой можно назвать такую систему, в которой отказ компьютера, о существовании которого вы даже не подозревали, может сделать ваш собственный компьютер непригодным к использованию».

Это определение он дал в мае 1987 года, в своем письме коллегам по поводу очередного отключения электроэнергии в машинном зале.

Эндрю Таненбаум², в своем фундаментальном труде «Распределённые системы. Принципы и парадигмы» [2] предложил следующее (чуть более строгое) определение, которого мы будем придерживаться в рамках данной книги:

«Распределенная вычислительная система (РВС) – это набор соединенных каналами связи независимых компьютеров, которые с точки зрения пользователя некоторого программного обеспечения выглядят единым целым».

В этом определении фиксируются два существенных момента: автономность узлов РВС и представление системы пользователем, как единой структуры. При этом, основным связующим звеном распределенных вычислительных систем является программное обеспечение.

¹ Лесли Лампорт (родился в 1941 году) – американский ученый в области теории вычислительных систем, первый лауреат премии Дейкстры за достижения в области распределенных вычислений (2000 год), разработчик системы LaTeX.

² Эндрю Стюарт Таненбаум (родился в 1944 году) – профессор Амстердамского свободного университета, создатель операционной системы Minix, автор множества учебных трудов в области информатики и вычислительной техники.

1.2 Промежуточное программное обеспечение

Распределенная вычислительная система представляет собой программно-аппаратный комплекс, ориентированный на решение определенных задач. С одной стороны, каждый вычислительный узел является автономным элементом. С другой стороны, программная составляющая РВС должна обеспечивать пользователям видимость работы с единой вычислительной системой. В связи с этим выделяют следующие важные характеристики РВС:

- возможность работы с различными типами устройств:
 - с различными поставщиками устройств;
 - с различными операционными системами,
 - с различными аппаратными платформами.

Вычислительные среды, состоящие из множества вычислительных систем на базе разных программно-аппаратных платформ, называются *гетерогенными*;

- возможность простого расширения и масштабирования;
- перманентная (постоянная) доступность ресурсов (даже если некоторые элементы РВС некоторое время могут находиться вне доступа);
- сокрытие особенностей коммуникации от пользователей.

Для обеспечения работы гетерогенного оборудования РВС в виде единого целого, стек программного обеспечения (ПО) обычно разбивают на два слоя. На верхнем слое располагаются *распределенные приложения*, отвечающие за решение определенных прикладных задач средствами РВС. Их функциональные возможности базируются на нижнем слое – *промежуточном программном обеспечении (ППО)*. ППО взаимодействует с системным ПО и сетевым уровнем, для обеспечения прозрачности работы приложений в РВС (см. рис. 1).

Для того чтобы РВС могла быть представлена пользователю как единая система, применяют следующие типы прозрачности в РВС:

- *прозрачный доступ к ресурсам* – от пользователей должна быть скрыта разница в представлении данных и в способах доступа к ресурсам РВС;
- *прозрачное местоположение ресурсов* – место физического расположения требуемого ресурса должно быть несущественно для пользователя;
- *репликация* – сокрытие от пользователя того, что в реальности существует более одной копии используемых ресурсов;

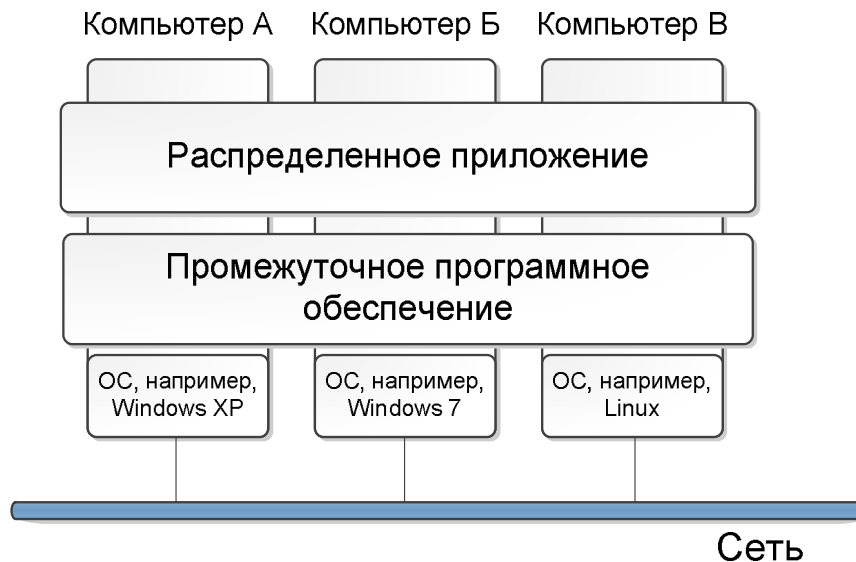


Рис. 1. Слои программного обеспечения в РВС

- *параллельный доступ* – возможность совместного (одновременного) использования одного и того же ресурса различными пользователями независимо друг от друга. При этом факт совместного использования ресурса должен оставаться скрытым от пользователя;
- *прозрачность отказов* – отказ (отключение) каких-либо ресурсов РВС не должен оказывать влияния на работу пользователя и его приложения.

1.3 Терминология РВС

1. *Ресурсом* называется любая программная или аппаратная сущность, представленная или используемая в распределенной сети. Например, компьютер, устройство хранения, файл, коммуникационный канал, сервис и т.п.
2. *Узел* – любое аппаратное устройство в распределенной вычислительной системе.
3. *Сервер* – это поставщик информации в РВС (например, веб-сервер).
4. *Клиент* – это потребитель информации в РВС (например, веб-браузер).
5. *Пир* – это узел, совмещающий в себе как клиентскую, так и серверную часть (т.е. и поставщик, и потребитель информации одновременно).
6. *Сервис* – это сетевая сущность, предоставляющая определенные функциональные возможности [30] (например, веб-сервер может предоставлять сервис передачи файлов по протоколу HTTP). В рамках одного узла могут предоставляться несколько различных сервисов.

На рисунке 2 приведена схема, устанавливающая взаимоотношения между данными терминами. Из схемы видно, что каждый компьютер или устройство

представляет собой сущность в распределенной вычислительной системе в виде узла. При этом на каждом узле может располагаться несколько клиентов, серверов, сервисов или пиров. Важно заметить, что любой узел, сервер, пир или сервис (*но не клиент!*) являются ресурсами распределенной вычислительной системы.

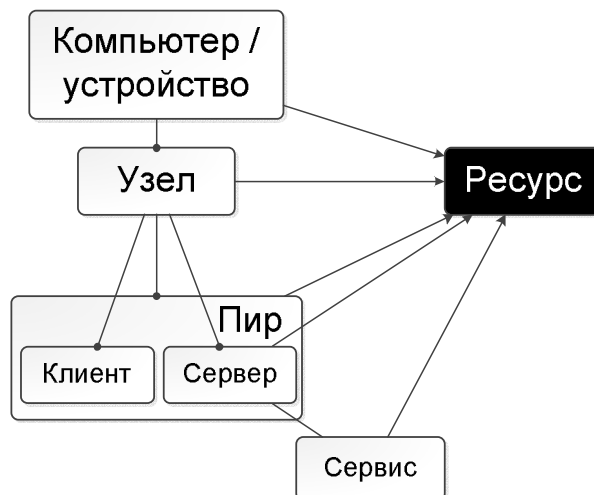


Рис. 2. Схема взаимоотношений между терминами PBC

Сервис получает запрос на предоставление определенных данных (почти как аргументы, передаваемые при вызове локальной функции) и возвращает ответ. Таким образом, сервис можно определить как некую замену вызова функции на локальном компьютере. Существует множество технологий, обеспечивающих создание и сопровождение сервисов в распределенных вычислительных системах: технология XML веб-сервисов, сервисы REST и др.

1.4 Классификация PBC

Выделяют следующие признаки классификации PBC по шкале «централизованный – децентрализованный»:

- методы обнаружения ресурсов;
- доступность ресурсов;
- методы взаимодействия ресурсов.

Существует множество различных технологий, обеспечивающих поиск и обнаружение ресурсов в PBC (например, такие *службы обнаружения ресурсов* как DNS, Jini Lookup, UDDI и др.). Примером *централизованного метода обнаружения* ресурсов может служить служба DNS (англ. Domain Name System – система доменных имен). Данная служба работает по принципам, чрезвычайно похожим на принцип работы телефонной книги. На основе указанного имени сайта (например, www.susu.ac.ru) DNS возвращает его IP-адрес (например,

85.143.41.59). Таким образом, сервер DNS представляет собой большую базу данных ресурсов, расположенных в РВС. Существует ограниченное количество серверов, которые предоставляют службу DNS. Обычно пользователь указывает ограниченное количество (1 или 2) таких серверов для работы. И если указанные сервера отключаются, то процесс обнаружения ресурсов останавливается, если вручную не указать альтернативные сервера.

При использовании *децентрализованного метода обнаружения* ресурсов (например, в сети Gnutella [33]) запрос на поиск отправляется всем узлам, известным отправителю. Эти узлы производят поиск ресурса у себя, и транслируют запрос далее. Таким образом, отсутствуют выделенные узлы для обнаружения и централизованное хранилище информации о ресурсах, доступных в сети.

Другим важным фактором является *доступность ресурсов* РВС. Примером *централизованной доступности ресурсов* в РВС может являться технология веб-сервисов. Существует только один сервер с выделенным IP-адресом, который предоставляет определенный веб-сервис или сайт. Если данный узел выйдет из строя или будет отключен от сети, данный сервис станет недоступна. Естественно, можно применить методы репликации для расширения доступности определенного сайта или сервиса, но доступность определенного IP-адреса останется прежней.

Существуют системы, предоставляющие *децентрализованные подходы к доступности ресурсов* посредством множественного дублирования сервисов, которые могут обеспечить функциональность, необходимую пользователю. Наиболее яркими примерами децентрализованной доступности ресурсов могут служить одноранговые вычислительные системы (BitTorrent, Gnutella, Napster), где каждый узел играет роль, как клиента, так и сервера, который может предоставлять ресурсы и сервисы, аналогичные остальным устройствам данной сети (поиск, передача данных и др.)

Еще одним критерием классификации РВС могут служить *методы взаимодействия узлов*. *Централизованный подход к взаимодействию узлов* основан на том, что взаимодействие между узлами всегда происходит через специальный центральный сервер. Таким образом, один узел не может обратиться к другому непосредственно.

Децентрализованный подход к взаимодействию реализуется в одноранговых вычислительных системах. Такой подход основывается на прямом взаимодействии между узлами РВС, т.к. каждый узел играет как роль клиента, так и роль сервера.

1.5 Связь в РВС

Понятие «распределенная вычислительная система» подразумевает, что компоненты такой системы распределены, т.е. удалены друг от друга. Очевидно, что функционирование подобных систем невозможно без эффективной связи между ее компонентами.

Задачи организации обмена между распределенными (территориально, административно и т.д.) компонентами давно и в значительной мере успешно решаются в вычислительных сетях, и, естественно, что РВС используют наработанный опыт.

Взаимодействие в вычислительных сетях базируется на протоколах. *Протокол* – это набор правил и соглашений, описывающих процедуру взаимодействия между компонентами системы (в том числе и вычислительной).



Рис. 3. Уровни модели OSI

Если система поддерживает определённый протокол, она, с большой долей вероятности, окажется способна взаимодействовать с другой системой, которая так же поддерживает данный протокол. В области вычислительных коммуникаций уже длительное время существует общепринятая система протоколов – сетевая модель OSI (англ. Open Systems Interconnection basic reference model – базовая эталонная модель взаимодействия открытых систем). Эта модель представляет собой стек протоколов разного уровня, которые позволяют описать практически все аспекты взаимодействия компонентов РВС.

Детальное рассмотрение стека протоколов OSI и особенностей его различных уровней лежит за рамками данной дисциплины.