

Лекция. Технологии распределенного хранения данных

1. Концепция распределенных баз данных
2. Стратегии распределения данных в сети

1. Концепция распределенных баз данных

Благодаря достигнутым успехам в области вычислительной техники и средств телекоммуникаций множество территориально рассредоточенных машин и терминалов объединяются в глобальные и локальные сети. Это создает благоприятные условия для расширения области использования информационных систем.

Современные информационные системы строятся на известной *концепции баз данных*, сущность которой состоит в интеграции данных и централизации управления ими для обеспечения многоаспектного использования. Этим обеспечивается необходимый уровень независимости между техническими, программными и информационными средствами систем, что позволяет адаптировать последние к текущим требованиям пользователей, а также совершенствовать в процессе эксплуатации.

Большинство первоначально создававшихся баз данных относилось к классу централизованных, то есть хранящих информацию в одной машине. Многие объекты (организации, предприятия) имели несколько таких баз, размещенных в разных компьютерах в силу следующих обстоятельств:

- объект по своей природе является территориально рассредоточенным;
- информационные потребности этого объекта настолько велики, что не могли покрываться одной централизованной базой данных;
- различные базы данных создавались в разное время в процессе эволюционного развития объекта.

Внедрение в практику управления персональных компьютеров еще более усложнило создавшееся положение, так как существенно увеличилось число относительно небольших баз данных, создаваемых в интересах отдельных должностных лиц или их малочисленных групп.

В то же время очевидна потребность в быстром и надежном доступе различных пользователей к информации, содержащейся в нескольких локальных базах данных. Объединение рассредоточенных вычислительных ресурсов объекта в глобальную или локальную сеть не разрешает существующую проблему. Даже при наличии развитой коммуникационной системы необходимо решить пять задач, связанных с предоставлением данных:

- определить компьютеры, содержащие запрашиваемые данные;
- сформировать несколько запросов, которые будут исполняться на разных машинах;
- скопировать или передать результаты в одну машину;
- объединить результаты;
- выделить из объединенного результата ответ на исходный запрос.

Решение перечисленных задач может потребовать значительных затрат времени, быть достаточно рутинным и подверженным ошибкам. Поэтому требуется реализация принципиально новых подходов к организации информационного процесса в компьютерных сетях. Качественный скачок в этой области возможен благодаря созданию гибких, высокопроизводительных и экономичных *распределенных информационных систем* на основе концепции баз данных.

Распространение названной концепции на новый уровень позволяет определить *распределенную информационную систему* как комплекс логически интегрированных и территориально рассредоточенных баз данных, технических, программных, языковых и организационных средств, предназначенных для накопления, ведения и использования информации. В свою очередь, *распределенная база данных* (РБД) определяется как интегрированная база данных, физически размещаемая на нескольких территориально распределенных компьютерах сети.

Для таких систем характерными являются следующие функции:

- накопление, обновление и хранение данных в географически удаленных узлах сети;
- логическая интеграция территориально распределенных данных, процессов обработки, обновления и поиска информации;
- обеспечение автоматического взаимодействия между локальными базами данных в процессе исполнения запросов и решения задач пользователей.

В качестве пользователей подобных информационных систем могут выступать должностные лица организаций, предприятий, прикладные и системные программисты, администрация базы данных. Администрирование обеспечивает создание распределенной и локальных баз данных и их реорганизацию, управление функционированием информационной системы, накопление и выдачу статистических сведений о ее работе, текущий анализ состояния. Функции администрирования выполняются на уровне распределенной и локальных баз данных. На уровне РБД эти функции состоят в поддержании в актуальном состоянии всех видов средств, обеспечивающих интеграцию локальных баз данных. На уровне ЛБД они совпадают с функциями администратора централизованной БД.

Управление выполнением основных функций информационной системы осуществляет комплекс программных средств, который включает *систему управления распределенными базами данных* (СУРБД) в качестве основного компонента, а также сетевую операционную систему, систему разграничения доступа и др.

Под СУРБД понимают систему, реализующую принцип логической интеграции данных, физически распределенных между различными взаимосвязанными компьютерами. К основным функциям СУРБД можно отнести анализ и распределение запросов, а также управление их прохождением.

Материальную основу распределенных банков данных составляют *технические средства* компьютерных сетей. Их совершенствование ведется в двух направлениях. Первое является традиционным и заключается в разработке

высокопроизводительных и надежных сетей. Второе состоит в специализации технических средств и связано с разработкой ЭВМ, обладающих обширной оперативной памятью, а также машин баз данных. Увеличение объема оперативной памяти позволит обеспечить достаточную производительность всей системы при решении задач с большим числом неупорядоченных обращений к памяти за счет сокращения операций по обмену с внешними запоминающими устройствами. Машинные базы данных ориентированы на реализацию основных функций управления БД, что обеспечивает более эффективное функционирование информационной системы в целом. Они могут выполняться в следующих модификациях: вспомогательной ЭВМ, пакета прикладных программ, аппаратно реализованной СУБД.

В целом необходимо отметить, что реализация концепции распределенных баз данных обеспечивает независимость программ по отношению к распределению данных в вычислительной сети. Это означает, что пользователь может иметь доступ к любым данным сети в пределах своих полномочий как к собственной локальной базе данных. В этом контексте существенный интерес представляет рассмотрение различных способов распределения данных по узлам сети для обеспечения эффективного доступа к ним.

2. Стратегии распределения данных в сети

Стратегии распределения данных по узлам компьютерной сети могут классифицироваться по различным признакам. К основным из них можно отнести наличие дублирования информации и количество узлов, содержащих копии данных. В соответствии с указанными классификационными признаками представляется возможным выделить четыре альтернативных стратегии распределения:

- централизация (единственная копия базы данных, расположенная в одном узле);
- расчленение (единственная копия базы данных, непересекающиеся фрагменты которой распределены по нескольким узлам);
- дублирование (несколько копий базы данных, в каждом узле располагается полная копия всей базы);
- смешанная (несколько копий базы данных, в каждом узле располагается произвольный фрагмент базы).

Ранжирование стратегий по предпочтительности их использования в общем случае не представляется возможным. Определение ситуаций, в которых та или иная стратегия является наиболее подходящей, целесообразно после выявления преимуществ и недостатков каждой из них.

Стратегия централизации. Названная стратегия характеризует предельный случай распределения данных. Строго говоря, база данных, построенная по этой стратегии, не является распределенной. Тем не менее, системы, реализующие стратегию централизации, могут быть вынесены в класс систем распределенной обработки, в которых рассредоточены вычислительные ресурсы и программное обеспечение. Поэтому рассмотрение названной стратегии представляет определенный интерес.

К несомненным достоинствам централизованной базы данных следует отнести ее простоту, так как все операции обращения к данным выполняются под управлением одного узла.

В то же время недостатки, присущие рассматриваемой стратегии, связаны именно с локальным расположением данных. Естественно, что объем базы данных ограничен емкостью запоминающих устройств центрального узла. К тому же запросы на операции над данными должны направляться только в этот узел со всеми вытекающими транспортными издержками. Если вычислительный ресурс центрального узла представлен единственной ЭВМ, то на параллельную обработку данных накладываются существенные ограничения. Центральный узел становится узким местом всей сети потому что, во-первых, скорость обработки данных ограничивается быстродействием его вычислительных средств, во-вторых, база данных становится недоступной для других узлов при появлении неисправностей в сети передачи данных и полностью отказывает при выходе из строя центрального узла.

Любая из трех других стратегий помогает преодолеть указанные недостатки ценой определенных затрат.

Стратегия расчленения. При использовании этой стратегии база разделяется на непересекающиеся подмножества данных, называемые *логическими фрагментами*. Каждый такой фрагмент размещается в отдельном узле. Число узлов, хранящих данные, может быть произвольным, в предельном случае равным общему числу узлов сети.

Преимущества расчленения данных перед централизованным размещением следующие. Размер базы ограничивается объемом запоминающих устройств всей сети (ее части). Снижается чувствительность к узким местам в сети передачи данных, поскольку нагрузка на нее распределяется более равномерно. Повышается доступность данных. Даже если сеть передачи данных полностью или частично выходит из строя, то доступными для пользователей могут оставаться фрагменты базы данных в отдельных узлах или узлах, остающихся связанными. Это обеспечивает реализацию функций информационной системы, хотя и в сокращенном объеме.

Важную роль при определении потенциальной доступности данных в критических ситуациях играет степень локализации ссылок. Под *локализацией ссылок* понимают характер расположения данных относительно запросов пользователей. Наивысшая степень локализации ссылок существует в случае, если данные, расположенные в одном узле, запрашиваются исключительно пользователями этого узла. Напротив, степень локализации ссылок мала, если подобное расчленение базы невозможно. Таким образом, если запрос пользователя может быть исполнен с помощью локально хранимых данных (степень локализации ссылок высока), то неисправности в других узлах или в сети передачи данных не окажут влияния на результат. Если же степень локализации ссылок незначительна или запросы являются сложными, то в большинстве случаев пользователям могут потребоваться данные от других узлов. Недоступность хотя бы одного узла приведет к неисполнению запроса пользователя. В подобной ситуации доступность данных в расчлененной базе может быть хуже, чем в

централизованной, так как вероятность того, что по меньшей мере один узел сети будет недоступен, выше вероятности недоступности единственного конкретного узла. Следовательно, стратегия расчленения обеспечит меньшую по времени доступность базы данных, чем стратегия централизации.

Степень локализации ссылок влияет и на временные характеристики расчлененной базы данных. Так, если большая часть запросов обслуживается локально, уменьшаются затраты времени на передачу данных. С другой стороны, если исполнение запроса требует доступа ко многим узлам, среднее время задержки может превышать аналогичный показатель централизованной базы. Тем не менее, уменьшение времени реакции может быть достигнуто, если в полной мере используется параллелизм в вычислительной сети.

В целом стратегия расчленения наиболее приемлема в случаях, когда-либо объем внешней памяти в каждом узле существенно меньше размера базы данных, либо недостаточна надежность центрального узла или сети передачи данных. Также использование рассматриваемой стратегии рекомендуется, если запросы обладают высокой степенью локализации ссылок. В противном случае эффективность функционирования базы может оказаться слишком низкой вследствие больших затрат на передачу данных.

Стратегия дублирования. Реализация этой стратегии предполагает размещение полной копии базы данных в нескольких узлах сети (в предельном случае в каждом узле). Отсутствует задача определения, какую часть базы должен содержать тот или иной узел. Однако первоочередное значение приобретают вопросы, связанные с согласованием многочисленных копий данных.

Рассматриваемая стратегия обеспечивает наивысший уровень доступности и надежности данных, но при явных затратах внешней памяти сети. Объем базы данных ограничивается наименьшей емкостью запоминающих устройств в узлах, хранящих данные. Обработка данных большей частью проводится локально, но согласование множества копий требует синхронизации. Способы согласования в конкретных приложениях могут быть различными, а уровень транспортных издержек существенно зависит от степени постоянства данных.

Необходимость согласования копий и сложность управления этим процессом являются причиной того, что стратегия дублирования позволяет реализовать параллельную обработку не столь просто, как стратегия расчленения. В свою очередь, каждый узел может работать асинхронно, а время реакции на запросы может быть небольшим, особенно при исполнении запросов, не требующих согласования копий, например, при выполнении поисковых процедур. Налицо простота замены разрушенной копии или восстановления процесса обработки в случае выхода из строя узла. Согласованная копия может быть получена из любого рабочего узла, после чего обращение к восстановленному узлу может проводиться в полном объеме. Следует заметить: если часть сети недоступна по какой-либо причине, необходимым становится наложение ограничений на выполнение операций обновления данных для поддержания глобальной согласованности копий базы данных. Действительно, если разрешить две операции обновления в двух узлах при отсутствии согласования, то при возобновлении нормального функционирования сети возможно нарушение согласованности базы данных.

Таким образом, стратегия дублирования наиболее применима в ситуациях, когда объем данных невелик, фактор доступности и надежности обращения к данным играет значительную роль, а интенсивность обновления данных невысока. Последнее обстоятельство наиболее характерно для информационно-поисковых систем.

Смешанная стратегия. Эта стратегия распределения данных объединяет подходы, используемые при расчленении и дублировании, с целью приобретения преимуществ последних. Но в то же время смешанная стратегия не лишена недостатков, присущих своим прототипам.

Использование смешанной стратегии предполагает деление базы данных на логические фрагменты (расчленение) и наличие в сети произвольного числа их физических копий, называемых *хранимыми фрагментами* (дублирование). Общность стратегии состоит в том, что любая часть базы может быть дублирована произвольное число раз, при этом в каждом узле может храниться желаемое подмножество данных.

Основным преимуществом смешанной стратегии, несомненно, является гибкость. Это важное свойство позволяет достичь компромисса между объемом памяти, используемой в целом и в каждом узле, с одной стороны, и обеспечиваемым уровнем надежности и оперативности, с другой. Например, архивные данные могут храниться в одном узле, а часто используемые могут быть дублированы. При дублировании логического фрагмента усложняются процедуры обновления хранимых фрагментов, но значительно большее количество данных становится локально доступным, то есть повышается степень локализации ссылок. Последнее ведет к снижению транспортных издержек за счет уменьшения числа пересылок. Стратегия допускает довольно простую организацию параллельной обработки, что ведет к уменьшению времени реакции на запросы. Появляется возможность обхода узких мест в сети передачи данных.

Недостатком смешанной стратегии является необходимость хранения информации о местонахождении данных в сети. Нетрудно заметить, что без наличия такой справочной информации невозможна реализация стратегии расчленения. Однако в последнем случае всегда можно указать однозначное соответствие между логическим фрагментом, с одной стороны, и узлом, в котором расположена его физическая копия, с другой.

В свою очередь, смешанная стратегия характеризуется многозначностью подобного соответствия, что существенно увеличивает объем справочных данных и требует введения процедур оптимизации доступа к хранимым фрагментам. Сложности возникают также при согласовании произвольного числа хранимых фрагментов, связанных с каждым логическим фрагментом. Обработка и оптимизация запросов являются нетривиальными задачами.

Рассматриваемая стратегия может быть рекомендована к реализации тогда, когда ни одна из более простых стратегий не признается удовлетворительной. Например, необходимо обеспечить выполнение высоких требований по надежности, предъявляемых к отдельным частям большой по объему базы данных. При этом каждый узел может обращаться к некоторым частям базы довольно часто, а к остальным – значительно реже. В этом случае стратегия расчленения не

может обеспечить достаточной надежности, а стратегия дублирования может быть неприемлемой из-за требований на объем памяти в узлах.