КЛАСТЕРЫ: ВИД ИЗНУТРИ

Кластеры, как совокупность серверов, решающих совместно определенные задачи, известны примерно с 1985 г.

Наиболее известны система VAX под ОС VMS, кластеры Tandem. В настоящее время большинство UNIX систем позволяют объединять серверы в кластер. Обычно понятие кластер ассоциируется с очень высокой ценой. Так действительно и было на самом деле. В последнее время, после того, как ведущие разработчики операционных систем Microsoft, Novel, SCO, Sun анонсировали свои кластерные решения для серверов на платформе Intel, ситуация в корне изменилась. Цена кластера стала доступной даже для не очень крупных компаний и организаций. Это и обусловило всплеск интереса к кластерам, наблюдаемый в последнее время.

ЧТО ЖЕ ТАКОЕ «КЛАСТЕР»?

Кластер – это совокупность серверов, накопителей и (по крайней мере, в перспективе) рабочих станций, которые:

- действуют как одна система;
- представляются пользователям как одна система;
- управляются как одна система.

Обязательно соблюдение всех трех указанных в определении требований. Так, например, Novel High Availability Server – решение, созданное в рамках кластерной стратегии Novell. Два сервера в нем действуют и управляются как одна система, но пользователям представляются как два отдельных компьютера. Поэтому, это решение не является кластером.

Чем же так привлекательны кластерные системы? Они позволяют значительно увеличить общую производительность сети (имеют хорошую масштабируемость), уменьшают затраты на администрирование локальной сети (хорошая управляемость).

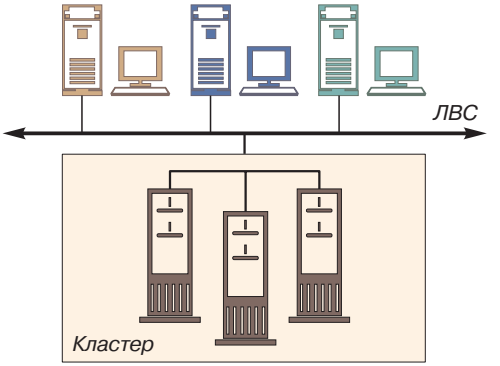


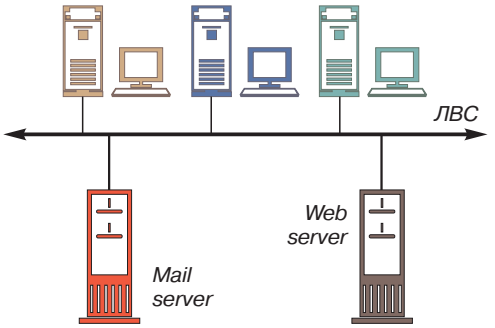
Рис. 1. ***Представление серверов в кластере для клиентов***

Но основное предназначение кластера – это обеспечение высокой доступности сетевых служб. Даже при отказе одного из серверов кластера, все обеспечиваемые кластером службы остаются доступны пользователям.

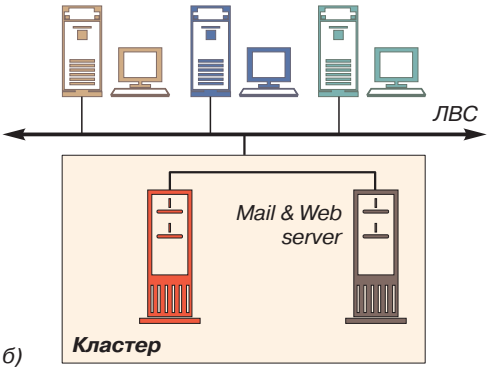
Можно пояснить функционирование кластера на примере (см. рис. 2). При традиционном решении, когда в локальной сети находится, например, почтовый и WEB-серверы, отказ одного из них приводит к тому, что соответствующая служба становится недоступной для пользователей. Если же в сети организован кластер, то каждый из узлов, до сбоя выполнявший только свою задачу, берет на себя дополнительно нагрузку отказавшего сервера.

КАК УСТРОЕН КЛАСТЕР?

В современном понятии, кластер на платформе Intel содержит несколько стандартных серверов SHV (Standard High Volume) и общую дисковую систему (Shared External Storage). Все серверы объединены внутренней (для кластера) локальной сетью Cluster SAN (System Area Network).



а)



б)

Рис. 2. ***Функционирование кластера***

а) традиционное решенеие; б) кластерное решение

Кроме того, каждый сервер подключен к общей локальной сети, в которой находятся все клиентские станции.

Существует две модели функционирования кластера:

– с разделяемыми дисками;
– без разделяемых ресурсов.

Модель с разделяемыми дисками

Каждый диск имеет *физическое соединение с каждым сервером*.

Каждый сервер имеет *доступ к данным любого диска*.

При одновременном запросе на чтение данных от двух серверов данные или читаются дважды, или запрашиваются у одного из серверов.

При одновременном запросе на запись данных возникает конфликт. Для его разрешения операционная система кластера с разделяемыми дисками содержит обязательный элемент – распределенный менеджер блокировок.

Механизмы блокировок широко применяются во всех СУБД, однако, в данном случае конфликты возникают между несколькими экземплярами приложения (в рассматриваемом случае – базы данных), выполняемыми на различных серверах. Поэтому механизм блокировок должен быть единым для всей системы.

Модель без разделяемых ресурсов

Каждый диск имеет *физическое соединение с каждым сервером*.

В любой момент времени каждый сервер имеет доступ к *данным только своей группы дисков*.

Конфликты как при чтении, так и при записи отсутствуют.

С точки зрения технической реализации различия моделей несущественны: и та, и другая модель требуют наличия разделяемой дисковой системы. Различия определяются операционной системой.

Модель с разделяемыми дисками применяется в тех случаях, когда главное предназначение кластера заключается в обеспечении высокой доступности и масштабируемости одного приложения (как правило, СУБД). Именно такая модель, в частности, применена в СУБД Oracle Parallel Server.

На различных серверах кластера располагаются не копии одной базы данных, а отдельные части общей базы данных. При необходимости добиться высокой производительности базы данных очень большого объема в систему добавляется еще один сервер со своей дисковой системой. На дисковой системе вновь введенного сервера располагается часть общей базы данных. Однако, пользователи по-прежнему видят только один сервер базы данных и одну базу данных. Добиться такого результата в модели без разделяемых ресурсов было бы очень трудно.

Модель без разделяемых ресурсов применяется в кластерах, основное предназначение которых – обеспечение высокой доступности нескольких сетевых служб. Такая модель применяется в Microsoft Cluster Server (кодовое название Wolfpack). В нормальном режиме на каждом сервере, как правило, выполняется свой набор приложений. Любое приложение, выполняемое только на одном сервере, не требует доступа к данным другого сервера. Это позволяет применить модель без разделяемых ресурсов. Модель без разделяемых ресурсов в данном случае обеспечивает большую производительность, так как каждый сервер работает только со своими дисками.

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ КЛАСТЕРА

Рассмотрим одну из распространенных схем организации двухузлового кластера с разделяемой дисковой SCSI-системой, которая является своего рода классической для платформы Intel.

Основные элементы кластера

2 сервера (узлы кластера):
- каждый имеет свой загрузочный диск;
- каждый имеет 2 RAID-контроллера (или один 2-х канальный).

Межузловое соединение (Heartbeat Interconnect) – обычно Ethernet.

Разделяемая дисковая система:
- в одном корпусе размещается 2 независимых дисковых массива;
- на каждом массиве сформирован RAID (обычно 5 уровня).

Две SCSI шины:
- к каждой подключен 1 дисковый массив и по одному RAID-контроллеру каждого узла кластера.

Данная конфигурация поддерживается Microsoft Cluster Server (MSCS), входящим в состав MS NT4 Enterprise Edition. На кластере, выполненном по приведенной схеме, хорошо работают и другие решения. В частности, СУБД Informix Dynamic Server 7.30.TC1 (под ОС Windows NT Server Enterprise Edition и MSCS) и Novell High Availability Server. Некоторые фирмы, например, AMI, выпускают

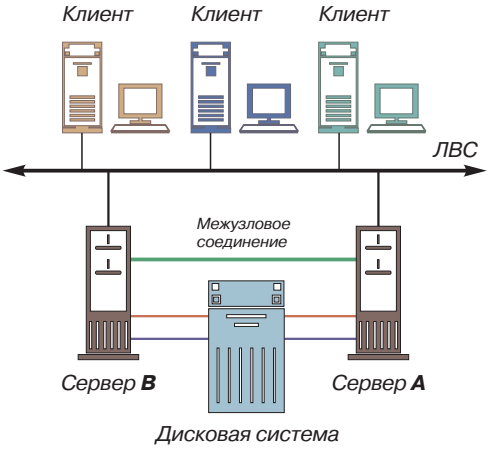


Рис. 3. ***Двухузловой кластер с разделяемой дисковой системой***

специализированные комплекты оборудования для объединения серверов в кластеры по приведенной схеме.

Можно, как варианты построения, применить внешние (SCSI to SCSI) RAID-контроллеры, при этом, в узлах кластера устанавливаются только SCSI-контроллеры.

КАК ЭТО РАБОТАЕТ?

В нормальном режиме работы каждый сервер кластера конфигурируется для выполнения каждым своих задач. Применительно к MSCS v.1.0, на узлах устанавливаются ресурсы (сетевые приложения, файлы данных, утилиты, обеспечивающие услуги сетевым клиентам). Связанные ресурсы объединяются в группы ресурсов. Однако каждый ресурс или группа ресурсов доступен для клиентов только на одном узле.

Каждый сервер использует только выделенную ему группу дисков. В процессе работы узлы обмениваются информацией о своем состоянии через межузловое соединение (heartbeat messages).

В случае обнаружения неисправности на одном из узлов кластера, на исправный узел посылается соответствующее сообщение по межузловому соединению.

Это является сигналом для исправного узла о запуске процедуры аварийного восстановления. На исправном узле запускаются все приложения, обеспечивающие ресурсы отказавшего сервера. Исправный сервер начинает использовать все диски: как выделенные для него, так и выделенные отказавшему серверу.

Процедура аварийного восстановления запускается также в случае полного выхода из строя одного из узлов после прекращения обмена сообщениями.

Более сложная ситуация возникает, если произошел отказ межузлового соединения. Оба узла исправны, но, поскольку отсутствует межузловой обмен, оба считают, что второй узел отказал. У кластера наступает «раздвоение личности» – "Split brain syndrome". Без принятия специальных мер на обоих узлах была бы запущена процедура аварийного восстановления.

Чтобы избежать данной ситуации, один из логических дисков разделяемого массива (так называемый «кворум-диск» – "quorum disk") выполняет особую роль. На этот диск, в частности, записывается журнал работы кластера. Кроме того, еще на этапе объединения серверов в кластер, присоединяемый сервер проверяет: имеет ли данный диск владельца, и если нет, то пытается присоединить этот диск себе. После присоединения кворум-диска сервер начинает формировать кластер. Если же этот диск уже имеет владельца, то сервер присоединяется к кластеру.

В случае отказа межузлового соединения кворум-диск используется для предотвращения «раздвоения личности» кластера. Когда обмен по межузловому соединению прекращается, каждый узел после короткого ожидания пытается присоединить кворум-диск себе. Тот узел, который определит, что кворум-диск уже имеет владельца, будет считаться в дальнейшем отказавшим.

ПРИСТАЛЬНЫЙ ВЗГЛЯД НА ВЕЩИ

Приведенная выше схема на первый взгляд кажется очень простой. Более того, ее еще можно упростить. Если установить по одному SCSI контроллеру в каждый сервер, соединить их шлейфом и к этому же шлейфу подключить 2 диска, то, скорее всего, удастся установить на такую конструкцию Windows NT Server Enterprise Edition, включая MS Cluster Server. Однако, в реальной жизни такой кластер «нежизнеспособен».

Основной задачей кластера является обеспечение высокой доступности сетевых ресурсов. Из рассмотренного выше механизма обеспечения высокой доступности ясно, что кластер работает до тех пор, пока работоспособна его дисковая система. Статистика же неумолимо свидетельствует, что в подавляющем большинстве случаев (более 90%) отказ сервера происходит из-за отказа жестких дисков, источников питания, системы вентиляции или контроллеров. Именно из этих элементов и состоит разделяемая дисковая система. Поэтому в конструкции кластера дисковой системе уделяется повышенное внимание.

Реализация дисковой подсистемы кластера

Диски в кластере устанавливаются, как правило, в отдельную стойку, имеющую встроенную отказоустойчивую систему электропитания (с 2-мя или даже 3-мя источниками питания с возможностью «горячей» замены) и встроенную избыточную систему вентиляции (с возможностью горячей замены вентиляторов). Диски объединяются в отказоустойчивый массив, зачастую с дополнительным диском горячего резерва.

Эти меры позволяют сохранить на определенное время работоспособность дисковой системы даже при выходе отдельных элементов из строя. Однако, отказавший элемент требует немедленной замены для сохранения отказоустойчивости системы.

Для этого дисковые стойки для кластеров оборудуются системой контроля состояния дисков, источников питания, вентиляторов и температуры, совместимой со спецификацией SAF-TE. SAF-TE (SCSI Accessed Fault-Tolerant Enclosures) – это открытая спецификация, разработанная как стандартизованный метод мониторинга и предоставления всесторонней информации о состоянии элементов высокодоступных серверов и устройств хранения информации.

Эта спецификация не зависит от контроллеров, кабелей и операционной системы, так как система представляется отдельным устройством на SCSI шине. Данные о состоянии элементов собираются встроенной микропроцессорной системой и периодически (обычно каждые 10...20 сек) передаются по SCSI шине. Благодаря этому значительно облегчается предупреждение администратора сети об отказе элементов и предоставляется возможность удаленного контроля состояния дисковой системы.

Внешний вид такой стойки (из комплекта AMI Cluster Kit, сертифицированного Microsoft) показан на рис. 4.

Не меньшую, чем при отказе дисковой системы, опасность для кластера представляет также отказ одного из RAID- или SCSI- контроллеров, установленных в узлах кластера. Как правило, при выходе из строя контроллера, нарушится согласование SCSI-шины.

В отдельных случаях некоторые линии шины могут оказаться замкнутыми накоротко. Это приведет к потере работоспособности общей шины и исправный сервер не сможет

Рис. 4. ***Внешний вид стойки из комплекта AMI Cluster Kit***

Рис. 5. ***Terminator/Enabler AMI-436***

нормально работать с дисками. Произойдет остановка обоих узлов кластера. Чтобы этого не произошло, разделяемый дисковый массив подключается к контроллерам узлов через специальное устройство, осуществляющее изоляцию отказавшей части шины и динамическое согласование (терминирование) оставшейся ее части.

Как правило, это устройство осуществляет также функции расширения шины (дает возможность увеличить общую длину шины). Внешний вид такого устройства (поставляется как в составе AMI Cluster Kit, так и отдельно) показан на рис. 5.

Реализация RAID-контроллера для кластера

Не меньшие проблемы вызывает также вопрос, какой вариант лучше: RAID-контроллер в каждом узле кластера или SCSI-контроллеры в узлах и SCSI-to-SCSI RAID-контроллер в дисковой системе?

Конечно, вариант с внутренним RAID-контроллером, как правило, несколько дешевле и, к тому же, обеспечивает превосходную производительность (по крайней мере, по чтению). В варианте с внутренним RAID-контроллером скорость передачи данных ограничивается шиной PCI. В варианте с внешним (SCSI-to-SCSI) RAID-контроллером скорость передачи данных ограничивается интерфейсом SCSI.

Тем не менее, во внутреннем RAID-контроллере кэширование при записи (Write-back caching) обычно отключается, так как всегда существует опасность потери в момент отказа не сохраненных на диске данных. Отключение же кэширования записи

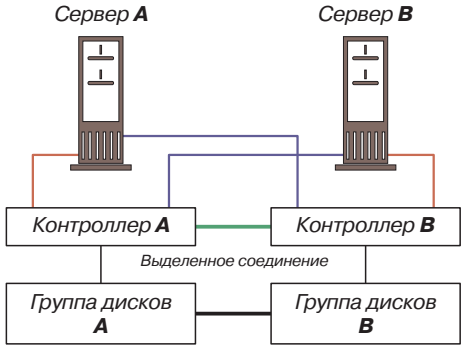


Рис. 6. ***Подключение контроллеров с выделенным соединением***

значительно ухудшает производительность в приложениях, интенсивно использующих операции записи на диски (скорость записи снижается от 5 до 30 раз). Наиболее заметно ухудшение производительности при использовании RAID уровня 5. Резервная батарея питания не решает проблемы в кластерной конфигурации, так как данные, сохраненные в кэш, все равно не могут быть использованы другим узлом кластера.

Кроме проблем с кэшированием записи при использовании внутреннего контроллера значительно ограничивается также количество узлов кластера.

При использовании внешнего контроллера возникают другие проблемы. Фактически разделяемыми в кластере оказываются не только дисковая система, но и RAID-контроллеры. Выход из строя контроллера повлечет за собой потерю работоспособности кластера. Поэтому в кластере внешние RAID-контроллеры включаются в дуплексном режиме (один контроллер в горячем резерве). Это, безусловно, значительно повышает стоимость оборудования.

В современных SCSI-to-SCSI RAID-контроллерах, специально разработанных для использования в кластерах (например, фирмы Mylex), внедряется кластерная технология на уровне контроллеров. Оба контроллера являются активными, т.е. имеют свой ID адрес и обслуживают каждый свою группу дисков. Между контроллерами существует выделенное соединение "Heartbeats". В случае отказа одного из контроллеров исправный начинает обслуживать оба ID адреса и обе группы дисков (рис. 6).

Процесс восстановления после отказа является прозрачным для узлов кластера и приводит только к некоторому снижению производительности.

Дальнейшим развитием этой технологии является «зеркалирование кэш записи» – "Mirrored Write Caching". По этой технологии данные, записываемые в кэш записи одного контроллера, немедленно копируются в буферную память другого контроллера. Если в момент записи на диск один контроллер выйдет из строя, данные на диск будут записаны из буферной памяти другого контроллера.

Описанные выше меры позволяют достичь высокой производительности и уникальной отказоустойчивости системы в целом.

ЧТО НАС ЖДЕТ В БЛИЖАЙШЕМ БУДУЩЕМ?

Перспективы широкого внедрения кластеров следует искать в появлении приложений, специально разработанных для работы в таких системах. Основной предпосылкой для этого является разработка кластерных технологий для хорошо известной разработчикам платформы "Wintel". На сегодня это один из самых дешевых способов построения отказоустойчивых и масштабируемых систем.

Некоторым препятствием могла быть трудность обеспечения обмена сообщениями между программными модулями приложения, исполняемыми на разных узлах. Такой обмен сообщениями требует передачи больших объемов данных между узлами (необходим скоростной канал – High-bandwidth) и, что не менее важно, быстрой передачи сообщений между узлами (необходима малая задержка – Low-latency). Для программной реализации обмена сообщениями в кластере по инициативе Intel, Microsoft и Compaq разработана открытая спецификация, определяющая интерфейс высокоскоростного обмена между серверами и накопителями в пределах кластера Virtual Interface Architecture (VI Architecture).

Дальнейшее развитие кластерной технологии на платформе "Wintel" следует ожидать уже в этом году, с выходом MSCS для Windows NT 5.0. Этот сервер будет поддерживать несколько узлов в кластере. Объединение нескольких узлов в кластер с использованием технологии SCSI встретит определенные трудности, что повлечет за собой более широкое внедрение технологии Fiber Channel. Однако это существенно только для очень мощных вычислительных систем с очень жесткими требованиями к надежности. Оборудование же для объединения в кластер 2...3 узлов с использованием технологии SCSI будет применяться еще очень долгое время. Более того, стоимость этого оборудования будет непрерывно снижаться, благодаря чему может уже в следующем году кластеры будут применяться также широко, как RAID технология в серверах сегодня.

Вячеслав ОВСЯННИКОВ
slv@eposmail.kiev.ua