

Cluster

Conceitos e Implementações

Escola Politécnica

Março de 2016.

Hash:00846239387v05a2c1346533958c04926c451042



Introdução

Cluster (ou clustering) é, em poucas palavras, o nome dado a um sistema que relaciona dois ou mais computadores para que estes trabalhem de maneira conjunta no intuito de processar uma tarefa. Estas máquinas dividem entre si as atividades de processamento e executam este trabalho de maneira simultânea.

Introdução

Cada computador que faz parte do cluster recebe o nome de nó (ou node). Teoricamente, não há limite máximo de nós, mas independentemente da quantidade de máquinas que o compõe, o cluster deve ser "transparente", ou seja, ser visto pelo usuário ou por outro sistema que necessita deste processamento como um único computador.

Nós em um Cluster

Os nós do cluster devem ser interconectados, preferencialmente, por uma tecnologia de rede conhecida, para fins de manutenção e controle de custos, como a Ethernet. É extremamente importante que o padrão adotado permita a inclusão ou a retirada de nós com o cluster em funcionamento, do contrário, o trabalho de remoção e substituição de um computador que apresenta problemas, por exemplo, faria a aplicação como um todo parar.

Viabilidade

A computação em cluster se mostra muitas vezes como uma solução viável porque os nós podem até mesmo ser compostos por computadores simples, como PCs de desempenho mediano. Juntos, eles configuram um sistema de processamento com capacidade suficiente para dar conta de determinadas aplicações que, se fossem atendidas por supercomputadores ou servidores sofisticados, exigiriam investimentos muito maiores.

Cluster de Desktops

Não é necessário haver um conjunto de hardware exatamente igual em cada nó. Por outro lado, é importante que todas as máquinas utilizem o mesmo sistema operacional, de forma a garantir que o software que controla o cluster consiga gerenciar todos os computadores que o integram.

Cluster de Desktops

Um antigo cluster montado com desktops.



Tipos de clusters

Há uma enormidade de aplicações que só podem ser atendidas satisfatoriamente com computação de alto desempenho: sistemas meteorológicos, ferramentas de mapeamento genético, simuladores geotérmicos, programas de renderização de imagens tridimensionais, entre tantos outros. Com o advento da computação em nuvens, este cenário se torna ainda mais amplo: pode-se ter uma infraestrutura tecnológica respondendo a vários clientes simultaneamente de maneira remota, por exemplo.

Tipos de clusters

Em todos estes casos e em qualquer outro tipo de aplicação crítica - que não pode parar de funcionar ou não pode perder dados (os sistemas bancários, por exemplo), o cluster pode se mostrar como uma solução viável, desde que o tipo mais adequado seja escolhido. Há vários tipos de cluster, mas os principais são: cluster de alto desempenho, cluster de alta disponibilidade e cluster de balanceamento de carga.

Cluster de Alto Desempenho (*High Performance Computing Cluster*)

são direcionados a aplicações bastante exigentes no que diz respeito ao processamento. Sistemas utilizados em pesquisas científicas, por exemplo, podem se beneficiar deste tipo de cluster por necessitarem analisar uma grande variedade de dados rapidamente e realizar cálculos bastante complexos.

O foco deste tipo é o de permitir que o processamento direcionado à aplicação forneça resultados satisfatórios em tempo hábil, mesmo que haja centenas de milhares de gigaflops envolvidos com a tarefa (1 gigaflop corresponde a 1 bilhão de instruções de ponto flutuante executadas por segundo).

Cluster de Alta Disponibilidade (*High Availability Computing Cluster*)

o foco está em sempre manter a aplicação em pleno funcionamento: não é aceitável que o sistema pare de funcionar, mas se isso acontecer, a paralização deve ser a menor possível, como é o caso de soluções de missão crítica que exigem disponibilidade de, pelo menos, 99,999% do tempo a cada ano, por exemplo.

Para atender a esta exigência, os clusters de alta disponibilidade podem contar com diversos recursos: ferramentas de monitoramento que identificam nós defeituosos ou falhas na conexão, replicação (redundância) de sistemas e computadores para substituição imediata de máquinas com problemas, uso de geradores para garantir o funcionamento em caso de queda de energia, entre outros.

Cluster de Alta Disponibilidade (*High Availability Computing Cluster*)

Em determinadas circunstâncias, é tolerável que o sistema apresente algum grau de perda de desempenho, especialmente quando esta situação é consequência de algum esforço para manter a aplicação em atividade.

Cluster para Balanceamento de Carga (*Load Balancing*)

as tarefas de processamento são distribuídas o mais uniformemente possível entre os nós. O foco aqui é fazer com que cada computador receba e atenda a uma requisição e não, necessariamente, que divida uma tarefa com outras máquinas.

Imagine, por exemplo, que um grande site na internet receba por volta de mil visitas por segundo e que um cluster formado por 20 nós tenha sido desenvolvido para atender a esta demanda. Como se trata de uma solução de balanceamento de carga, estas requisições são distribuídas igualmente entre as 20 máquinas, de forma que cada uma receba e realize, em média, 50 atendimentos a cada segundo.

Cluster para Balanceamento de Carga (*Load Balancing*)

Não basta ao cluster de balanceamento de carga ter um mecanismo meramente capaz de distribuir as requisições - é necessário que este procedimento seja executado de forma a garantir um "equilíbrio" na aplicação. Para tanto, o mecanismo pode monitorar os nós constantemente para verificar, por exemplo, qual máquina está lidando com a menor quantidade de tarefas e direcionar uma nova requisição para esta.

Cluster para Balanceamento de Carga (*Load Balancing*)

O balanceamento de carga pode ser utilizado em vários tipos de aplicações, mas o seu uso é bastante comum na internet, já que soluções do tipo têm maior tolerância ao aumento instantâneo do número de requisições, justamente por causa do equilíbrio oriundo da distribuição de tarefas.

Combinação de tipos de clusters

É válido frisar que uma solução de cluster não precisa se "prender" a apenas um tipo. Conforme a necessidade, pode-se combinar características de tipos diferentes no intuito de atender plenamente à aplicação.

Por exemplo, uma loja na internet pode utilizar um cluster de alta disponibilidade para garantir que suas vendas possam ser realizadas 24 horas por dia e, ao mesmo tempo, aplicar balanceamento de carga para suportar um expressivo aumento eventual no número de pedidos causados por uma promoção

Funcionamento de um clusters

Para que um cluster seja constituído, é necessário fazer uso de alguns elementos básicos. O primeiro deles você já conhece: os equipamentos a serem utilizados como nós.

Para isso, pode-se usar máquinas construídas especificamente para funcionar como nós. Neste caso, os computadores teriam apenas dispositivos de hardware imprescindíveis ao cluster.

Funcionamento de um clusters

Mas, também é possível utilizar computadores "convencionais", como desktops para fins domésticos ou para uso em escritório. Assim, uma universidade ou uma empresa, por exemplo, pode utilizar máquinas que foram substituídas por modelos mais recentes para criar um cluster e, eventualmente, economizar com a aquisição de servidores.

Funcionamento de um clusters

Os nós podem ainda ser não dedicados ou dedicados. No primeiro caso, cada computador que faz parte do cluster não trabalha exclusivamente nele. No segundo, o nó é utilizado somente para este fim, fazendo com que dispositivos como teclados e monitores sejam dispensáveis - se, por algum motivo, for necessário acessar uma máquina em particular, pode-se fazê-lo via terminal, a partir do nó principal, por exemplo.

Funcionamento de um clusters

Outro elemento importante é o sistema operacional. Como já informado, os nós não precisam ser exatamente iguais no que diz respeito ao hardware, mas é essencial que todas os computadores utilizem o mesmo sistema operacional.

Funcionamento de um clusters

Esta homogeneidade é importante para diminuir a complexidade de configuração e manutenção do sistema, e garantir que os procedimentos rotineiros ao cluster, como monitorização, distribuição de tarefas e controle de recursos sejam executados de maneira uniforme. Para reforçar estes aspectos, pode-se até mesmo adotar sistemas operacionais preparados especialmente para clustering.

Funcionamento de um clusters

Do ponto de vista do software, o cluster conta ainda com o elemento que faz o papel de middleware: trata-se de um sistema que permite o controle do cluster em si e, portanto, está intimamente ligado ao sistema operacional. É o middleware que lida, por exemplo, com as bibliotecas que fazem toda a comunicação do cluster, uma delas é o padrão MPI (Message Passing Interface).

Funcionamento de um clusters

Além de trabalhar com o gerenciamento do cluster, o middleware oferece uma interface para que um administrador possa configurar o cluster, ferramentas para manutenção e otimização, recursos de monitoramento e assim por diante.

Por padrão, o middleware é instalado em uma máquina chamada de nó controlador (ou nó mestre). O nome deixa claro: trata-se do já mencionado nó principal, que efetivamente controla o cluster a partir da distribuição de tarefas, do monitoramento e de procedimentos relacionados.

Funcionamento de um clusters

A comunicação entre os nós, que é onde está a delimitação do que constitui o cluster em si - é feita a partir de uma tecnologia de rede local. Os padrões Ethernet (Gigabit Ethernet, Fast Ethernet, etc) são bastante utilizados justamente por serem mais comuns e, portanto, melhor suportados e menos custosos. Mas há outras opções viáveis, entre elas, o Myrinet e o InfiniBand, ambos com características bastante apropriadas para clustering.

Cluster Beowulf

O Beowulf não é, necessariamente, um middleware, como muitas pensam. Na verdade, este nome faz referência a um padrão de clustering disponibilizado pela NASA (National Aeronautics and Space) em 1994 e amplamente adotado desde então.

Cluster Beowulf

Originalmente, Beowulf é o nome de um poema extenso e bastante antigo, cujo manuscrito foi encontrado no século XI. A obra descreve os atos de um herói de mesmo nome que se destaca por sua força descomunal e que, portanto, enfrenta um perigoso monstro para salvar um reino. A história serviu de inspiração para que os pesquisadores Thomas Sterling e Donald Becker, da NASA, batizassem o projeto de cluster no qual trabalhavam de Beowulf.

Cluster Beowulf

Um cluster Beowulf se define, basicamente, pela ênfase nas seguintes características:

- entre os nós, deve haver pelo menos um que atue como mestre para exercer o controle dos demais. As máquinas mestres são chamadas de front-end; as demais, de back-end. Há a possibilidade de existir mais de um nó no front-end para que cada um realize tarefas específicas, como monitoramento, por exemplo;

Cluster Beowulf

Um cluster Beowulf se define, basicamente, pela ênfase nas seguintes características:

- a comunicação entre os nós pode ser feita por redes do tipo Ethernet, mais comuns e mais baratas, como você já sabe;
- não é necessário o uso de hardware exigente, nem específico. A ideia é a de se aproveitar componentes que possam ser encontrados facilmente. Até mesmo PCs considerados obsoletos podem ser utilizá-los;

Cluster Beowulf

Um cluster Beowulf se define, basicamente, pela ênfase nas seguintes características:

- o sistema operacional deve ser de código aberto, razão pela qual o Linux e outras variações do Unix são bastante utilizados em cluster Beowulf. O MOSIX, a ser abordado no próximo tópico, é uma opção bastante usada para este fim;
- os nós devem se dedicar exclusivamente ao cluster;

Cluster Beowulf

Um cluster Beowulf se define, basicamente, pela ênfase nas seguintes características:

- deve-se fazer uso de uma biblioteca de comunicação apropriada, como a PVM (Parallel Virtual Machine) ou a MPI (Message Passing Interface). Ambas são direcionadas à troca de mensagens entre os nós, mas o MPI pode ser considerado mais avançado que o PVM, uma vez que consegue trabalhar com comunicação para todos os computadores ou para apenas um determinado grupo.

Cluster Beowulf

Perceba que, com estas características, pode-se construir um cluster "poderoso" e, ao mesmo tempo, poupar gastos com equipamentos, licenças de software e manutenção. O cluster montado por Thomas Sterling e Donald Becker para a NASA, por exemplo, era composto por 16 PCs com processador Intel 486 DX4 e sistema operacional Linux conectados por uma rede Ethernet de 10 Mb/s. Como se vê, esta foi uma solução consideravelmente mais barata e, possivelmente, menos complexa que um supercomputador.

Outas soluções de clusters

Há uma quantidade razoável de soluções para clusters, mas algumas se sobressaem, especialmente aquelas que se relacionam com Linux e outros sistemas baseados em Unix. Vejamos rapidamente opções do tipo que se destacam bastante.

MOSIX

O MOSIX (Multicomputer Operating System for Unix) é uma das opções mais tradicionais quando o assunto é clustering. Trata-se, resumidamente, de um conjunto de softwares que permite a implementação de clusters em sistemas baseados no Unix, tendo forte ênfase em balanceamento de carga e alto desempenho.

Entre as suas principais características estão: possibilidade de trabalhar com nós dedicados e não dedicados; suporte não apenas a CPUs, mas também a GPUs (a partir da versão 2); migração dinâmica de processos (um nó mais potente pode assumir determinada tarefa para evitar sobrecarga em outro); e possibilidade de remoção e inclusão de nós sem interromper o cluster.

MOSIX

Como o MOSIX também trabalha com nós não dedicados, é possível inclusive fazer com que as máquinas de um escritório passem a trabalhar no cluster após o horário do expediente, por exemplo. Mas, mesmo se houver usuários utilizando os nós, é possível manter o cluster em funcionamento, já que as atividades do MOSIX são totalmente "transparentes", ou seja, seu trabalho no computador não é perceptível.

O MOSIX não é uma solução gratuita. Houve uma versão sua de código aberto chamada OpenMosix que, infelizmente, foi descontinuada em março de 2008.

OpenSSI

O OpenSSI é uma solução aberta para clusters focada em ambientes Linux. O nome tem como base o conceito de SSI (Single System Image), ou seja, um sistema que considera vários nós, mas se parece, no ponto de vista do usuário, apenas como um único computador. A "visão" de apenas uma única máquina também é válida para os softwares: estes não precisam ser alterados para "enxergar" cada nó e assim rodar no cluster, facilitando a implementação da solução. O OpenSSI pode lidar tanto com alto desempenho quanto com alta disponibilidade, além de possuir recursos para balanceamento de carga.

Kerrighed

O Kerrighed é outra opção SSI aberta para clusters que tem como base o Linux. Esta solução se destaca principalmente por fazer uso do conceito de Distributed Shared Memory (DSM) - algo como "Memória Compartilhada Distribuída", onde a memória de cada nó se "soma" a dos demais, como se formassem um volume único à disposição de todo o cluster.

Kerrighed

Esta abordagem oferece vários benefícios: parte da memória pode ser disponibilizada para todos os clientes da aplicação; sistemas desenvolvidos para rodar de maneira centralizada podem ser executados de maneira distribuída dentro da solução; o cluster pode se comportar como se fosse uma máquina com múltiplos processadores; entre outros.

Vantagens e desvantagens dos clusters

Neste ponto do texto, você certamente já compreendeu as vantagens de um cluster. Eis as principais:

- pode-se obter resultados tão bons quanto ou até superiores que um servidor sofisticado a partir de máquinas mais simples e mais baratas (ótima relação custo-benefício);
- não é necessário depender de um único fornecedor ou prestador de serviço para reposição de componentes; a configuração de um cluster não costuma ser trivial, mas fazer um supercomputador funcionar poder ser muito mais trabalhoso e exigir pessoal especializado;
- é possível aumentar a capacidade de um cluster com a adição de nós ou remover máquinas para reparos sem interromper a aplicação;

Vantagens e desvantagens dos clusters

Neste ponto do texto, você certamente já compreendeu as vantagens de um cluster. Eis as principais:

- há opções de softwares para cluster disponíveis livremente, o que facilita o uso de uma solução do tipo em universidades, por exemplo;
- relativa facilidade de customização para o perfeito atendimento da aplicação;
- um cluster pode ser implementado tanto para uma aplicação sofisticada quanto para um sistema doméstico criado para fins de estudos, por exemplo.

Vantagens e desvantagens dos clusters

Mas, apesar destes benefícios, os clusters não são a solução perfeita para todo e qualquer problema computacional. Há aplicações onde o uso de outra tecnologia se mostra mais adequado. Entre as razões para isso estão:

- a facilidade de expansão do cluster pode ser uma "faca de dois gumes": a quantidade de máquinas pode aumentar tanto que a manutenção se torna mais trabalhosa, o espaço físico pode ficar impróprio, etc;
- a tecnologia de comunicação utilizada pode não oferecer a velocidade de transferência de dados ou o tempo de resposta necessário, dependendo da aplicação;
- um cluster tem como base uma rede local, logo, não se pode acrescentar máquinas que estejam muito distantes geograficamente.

Vantagens e desvantagens dos clusters

Por estes aspectos, fica evidente que as necessidades e os requisitos de uma aplicação devem ser bem avaliados para que se possa decidir entre a implementação de um cluster ou outra tecnologia. Se o clustering for a opção escolhida, deve-se seguir com a avaliação, desta vez para se decidir sobre as soluções e recursos disponíveis.

Considerações

A origem da denominação "cluster" não é clara, mas sabe-se que as primeiras soluções de processamento paralelo remontam à década de 1960, havendo, a partir daí, alguns princípios que hoje formam a base da ideia de clustering.

O fato é que o passar do tempo não torna o conceito ultrapassado. Há um motivo especial para isso: os clusters se relacionam intimamente à otimização de recursos, uma necessidade constante em praticamente qualquer cenário computacional. E este aspecto pode se tornar ainda mais atraente quando a ideia de cluster é associada a conceitos mais recentes, como cloud computing e virtualização.

Referências

D. A. Patterson e J. L. Hennessy ,Computer Organization and Design: The Hardware/Software Interface, Morgan Kauffman, 5ª edição, 2013.