

Arquitetura e Organização de Computadores

Prof. Fernando V. Salina

Cap. 17 – pags 514-552

William Stallings

Arquitetura e Organização de Computadores

Processamento Paralelo



Organizações de múltiplos processadores

- Instrução única, único dado – SISD.
- Instrução única, múltiplos dados – SIMD.
- Múltiplas instruções, único dado – MISD.
- Múltiplas instruções, múltiplos dados – MIMD.



Instrução única, único dado – SISD

- Processador único.
- Única sequência de instruções.
- Dados armazenados na única memória.
- Uniprocessadores.



Instrução única, múltiplos dados – SIMD

- Única instrução de máquina.
- Controla execução simultânea.
- Número de elementos de processamento.
- Base inflexível.
- Cada elemento de processamento possui memória de dados associada.
- Cada instrução executada em conjunto diferente de dados por processadores diferentes.
- Processadores de vetores e matrizes.



Múltiplas instruções, único dado – MISD

- Sequência de dados.
- Transmitidos ao conjunto de processadores.
- Cada processador executa uma sequência de instruções diferente.
- Nunca foi implementado comercialmente.

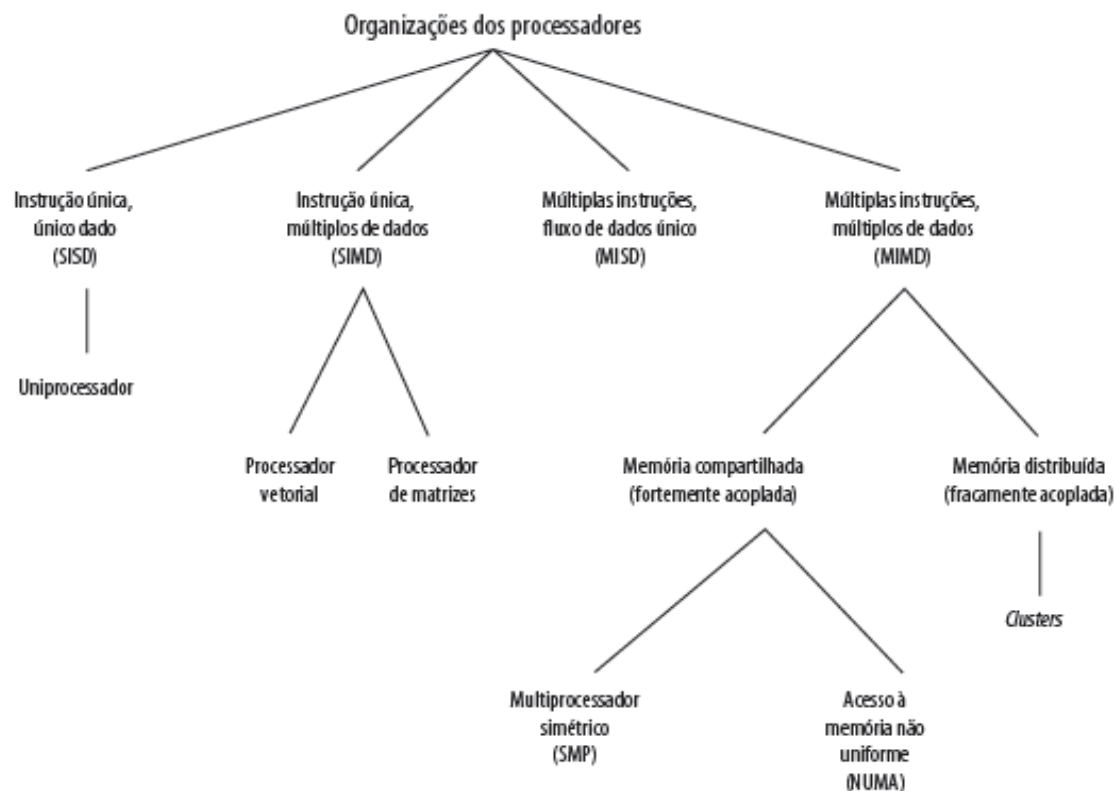


Múltiplas instruções, múltiplos dados – MIMD

- Conjunto de processadores.
- Executam simultaneamente diferentes sequências de instruções.
- Diferentes conjuntos de dados.
- SMPs, *clusters* e sistemas NUMA.



Taxonomia das arquiteturas de processador paralelo





MIMD – Visão geral

- Processadores de uso geral.
- Cada um pode processar todas as instruções necessárias.
- Classificado ainda mais pelo método de comunicação do processador.



Fortemente acoplado – SMP

- Processadores compartilham memória.
- Comunicam-se por essa memória compartilhada.
- Multiprocessador simétrico (SMP):
 - Compartilha única memória ou pool.
 - Barramento compartilhado para acessar memória.
 - Tempo de acesso à memória para determinada área de memória é aproximadamente o mesmo para cada processador.



Fortemente acoplado – NUMA

- Acesso não uniforme à memória.
- Tempos de acesso a diferentes regiões da memória podem diferir.

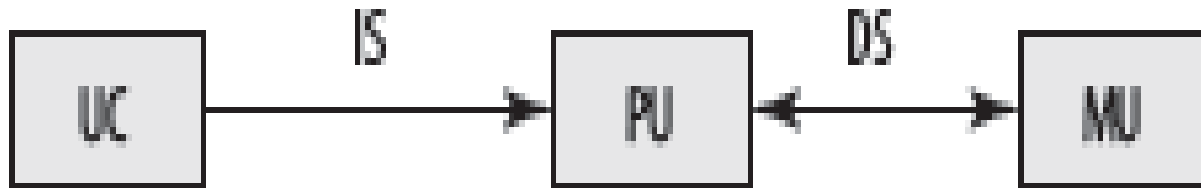


Levemente acoplado – Clusters

- Coleção de uniprocessadores independentes ou SMPs.
- Interconectados para formar um *cluster*.
- Comunicação por caminho fixo ou conexões da rede.

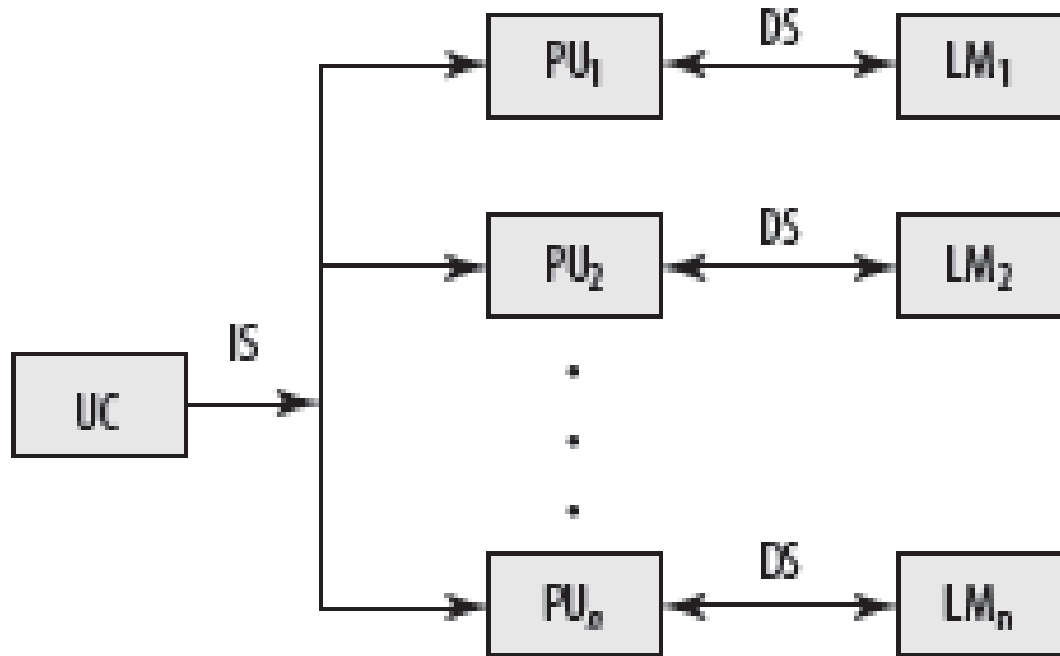


Organizações paralelas – SISD



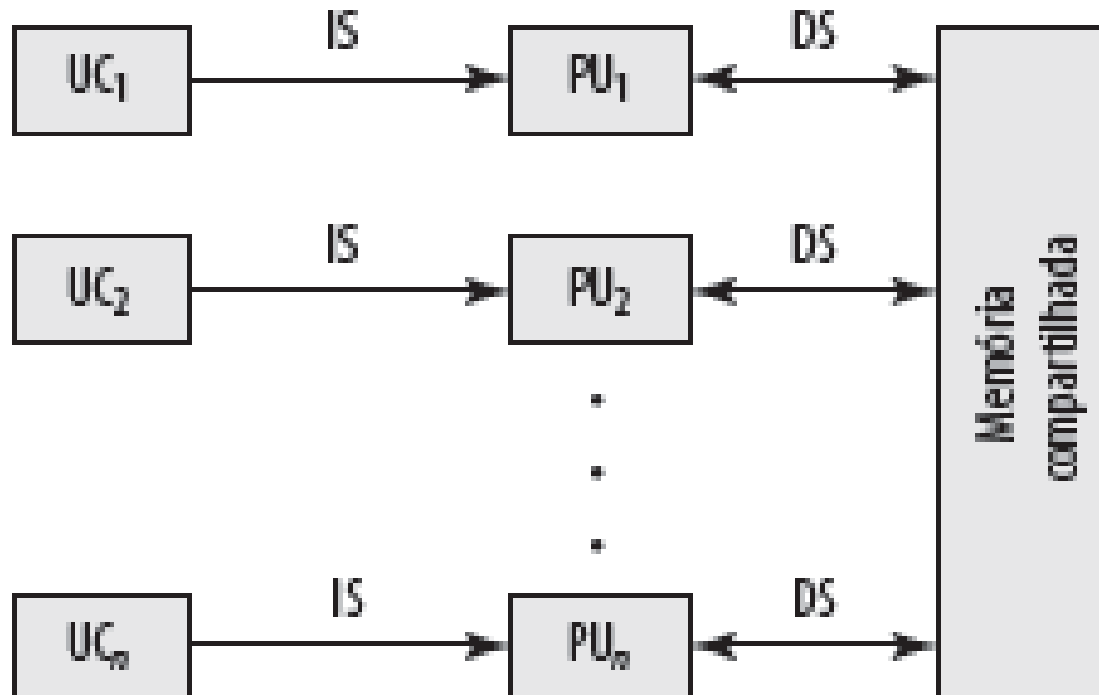


Organizações paralelas – SIMD



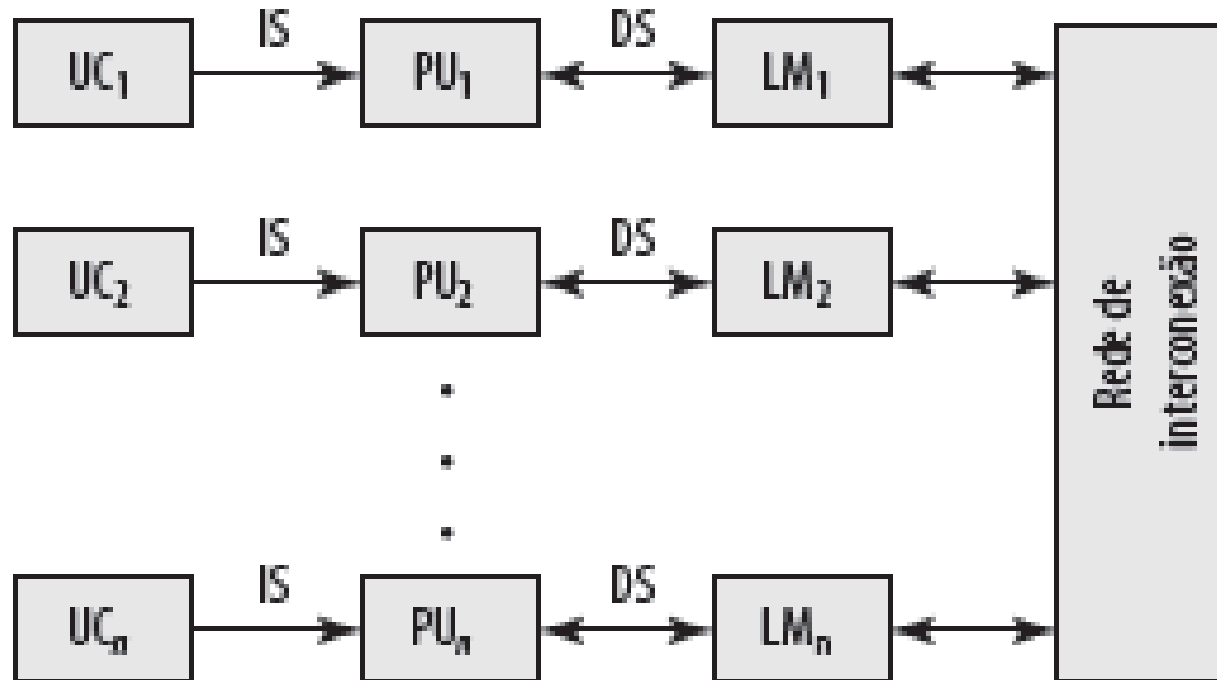


Organizações paralelas – MIMD (memória compartilhada)





Organizações paralelas – MIMD (memória distribuída)



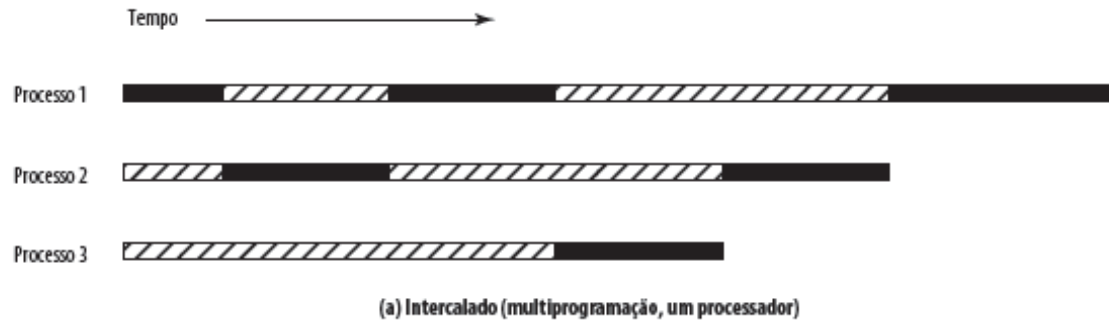


Multiprocessadores simétricos

- Um computador independente com as seguintes características:
 - Dois ou mais processadores semelhantes de capacidade comparável.
 - Processadores compartilham a mesma memória principal e E/S.
 - Processadores são conectados por um barramento ou outra conexão interna.
 - Tempo de acesso à memória aproximadamente igual para cada processador.
 - Todos os processadores compartilham acesso à E/S.
 - Ou pelos mesmos canais ou por canais diferentes dando caminhos aos mesmos dispositivos.
 - Todos os processadores podem realizar as mesmas funções (daí serem simétricos).
 - Sistema controlado pelo sistema operacional integrado:
 - Fornecendo interação entre processadores.
 - Interação em nível de job, tarefa, arquivo e elemento de dados.



Multiprogramação e multiprocessamento



 Bloqueado

 Executando

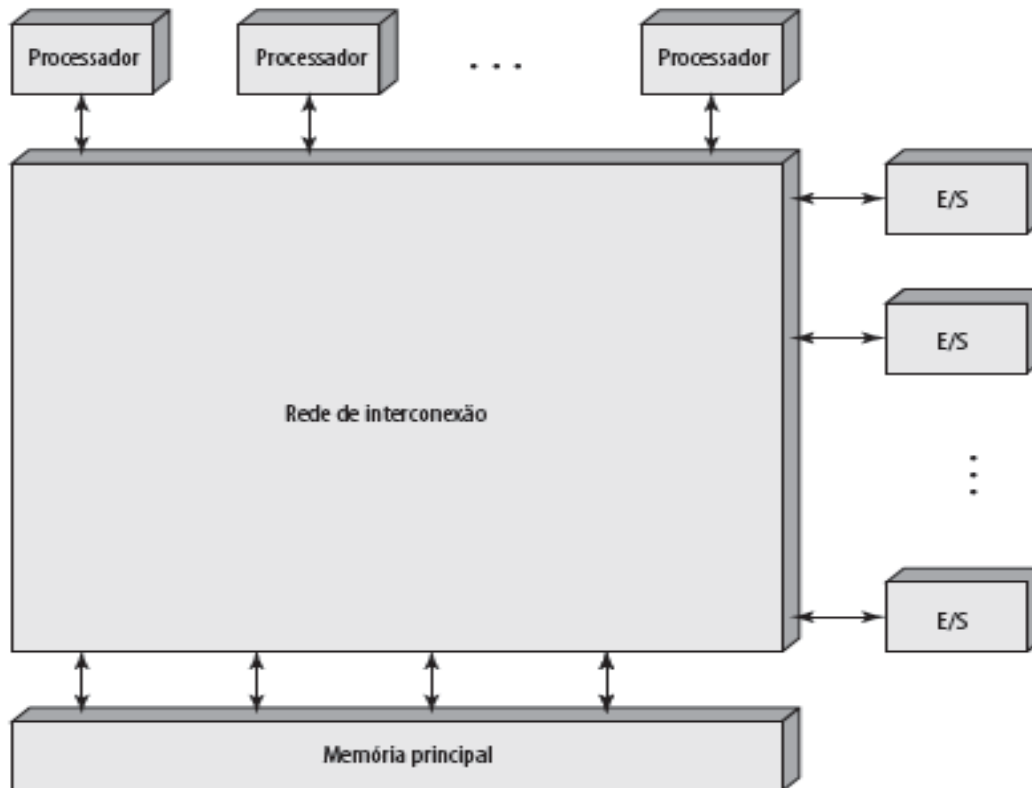


Vantagens do SMP

- Desempenho:
 - Se algum trabalho puder ser feito em paralelo.
- Disponibilidade:
 - Como todos os processadores podem realizar as mesmas funções, a falha de um único processador não interrompe o sistema.
- Crescimento incremental:
 - Usuário pode melhorar o desempenho acrescentando processadores adicionais.
- Escalabilidade:
 - Fornecedores podem oferecer uma série de produtos com base no número de processadores.

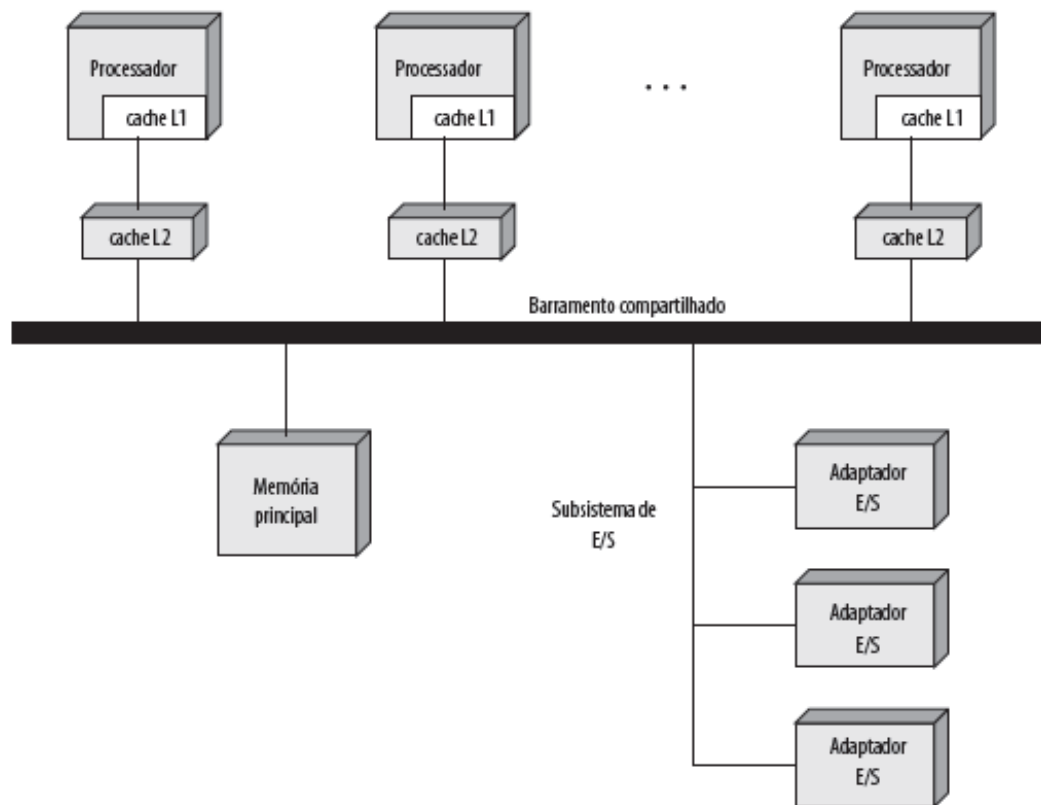


Diagrama de blocos do multiprocessador fortemente acoplado





Organização do multiprocessador simétrico





Considerações sobre sistema operacional

- Processos concorrentes simultâneos.
- Escalonamento.
- Sincronização.
- Gerenciamento de memória.
- Confiabilidade e tolerância a falhas.



Multithreading e chips multiprocessadores

- Fluxo de instruções dividido em fluxos menores (threads).
- Executados em paralelo.
- Grande variedade de projetos de multithreading.



Definições de threads e processos

- Thread em processadores multithreaded podem ou não ser o mesmo que threads por software.
- Processo:
 - Uma instância do programa executando no computador.
 - Posse do recurso.
 - Espaço de endereço virtual para manter imagem do processo.
 - Escalonamento/execução.
 - Troca de processos.
- Thread: unidade de trabalho do processo que pode ser despachada.
 - Inclui contexto do processador (que inclui o contador de programa e ponteiro de pilha) e área de dados para pilha.
 - Thread executada sequencialmente.
 - Interrupção: processador pode passar para outra thread.
- Troca de thread:
 - Troca do processador entre threads do mesmo processo.
 - Normalmente, custa menos que a troca de processo.



Multithreading implícito e explícito

- Todos processadores comerciais e maioria dos experimentais utilizam multithreading explícito.
 - Executa instruções simultaneamente a partir de diferentes threads explícitas.
 - Intercala instruções de diferentes threads em pipelines compartilhados ou execução paralela em pipelines paralelos.
- Multithreading implícito é execução simultânea de várias threads extraídas do único programa sequencial.
 - Threads implícitas definidas estaticamente pelo compilador ou dinamicamente pelo hardware.



Abordagens para multithreading explícito

- Intercalado:
 - Granularidade fina.
 - Processador lida com dois ou mais contextos de thread ao mesmo tempo.
 - Troca de thread em cada ciclo de clock.
 - Se a thread estiver bloqueada, ela é pulada.
- Bloqueado:
 - Granularidade grossa.
 - Thread executada até evento causar atraso.
 - Por exemplo, falha de cache.
 - Eficiente no processador em ordem.
 - Evita parada do pipeline.
- Simultâneo (SMT):
 - Instruções enviadas simultaneamente a partir de várias threads para unidades de execução do processador superescalar.
- Chip multiprocessador:
 - Processador é replicado em um único chip.
 - Cada processador trata de threads separadas.



Exemplos

- Alguns Pentium 4:
 - Intel refere-se como *hyperthreading*.
 - SMT com suporte para duas threads.
 - Único processador multithreaded processor, logicamente dois processadores.
- IBM Power5:
 - PowerPC avançado.
 - Combina chip de multiprocessamento com SMT.
 - Chip tem dois processadores separados.
 - Cada um tem suporte para duas threads simultaneamente usando SMT.



Clusters

- Alternativa ao SMP.
 - Alto desempenho.
 - Alta disponibilidade.
 - Aplicações servidoras.
-
- Um grupo de computadores inteiros interconectados.
 - Trabalhando juntos como um recurso unificado.
 - Ilusão de serem uma única máquina.
 - Cada computador é denominado nó.



Benefícios do Cluster

- Escalabilidade absoluta.
- Escalabilidade incremental.
- Alta disponibilidade.
- Preço/desempenho superior.

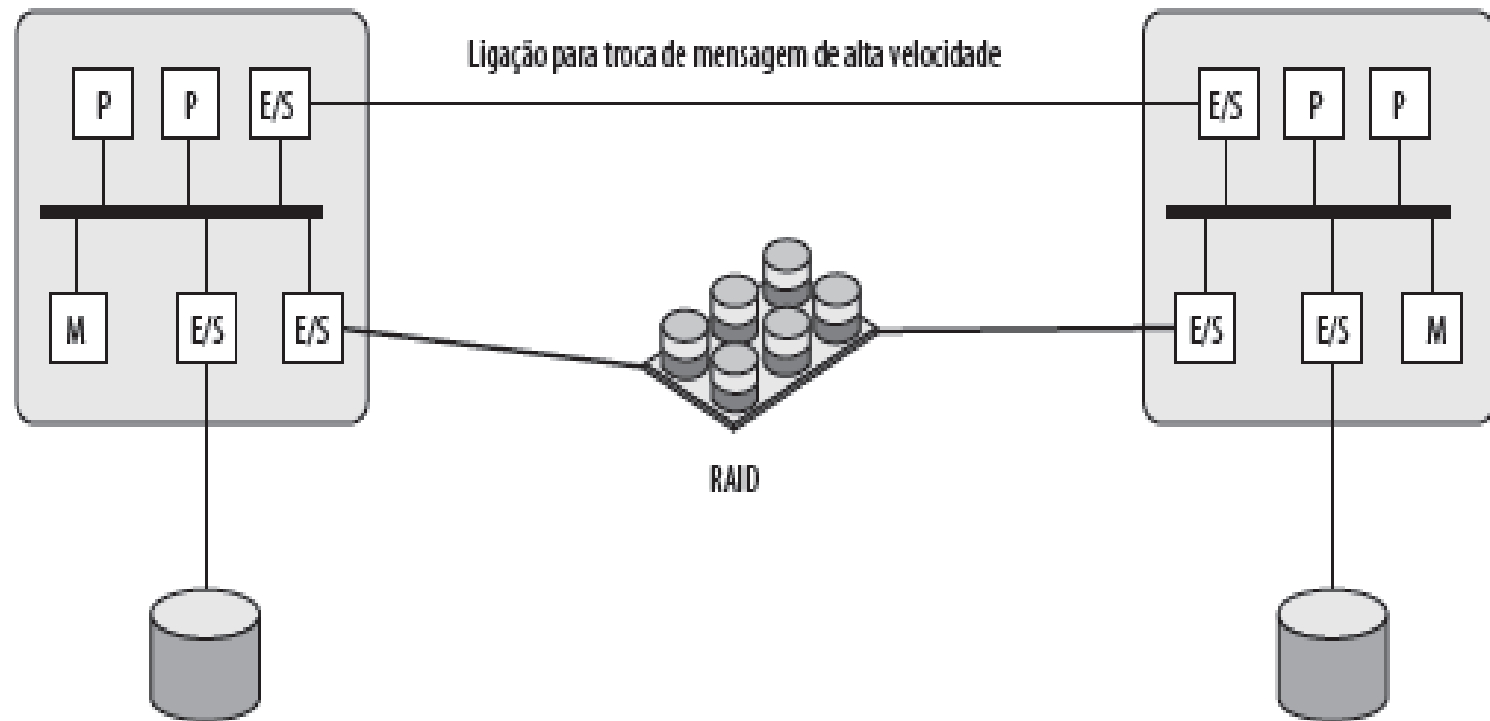


Configurações de cluster – servidor separado, sem compartilhamento





Configurações de cluster – disco compartilhado





Questões de projeto de sistema operacional

- Gerenciamento de falhas:
 - Alta disponibilidade.
 - Tolerante a falhas.
 - *Failover* (recuperação de falhas):
 - Restauração de aplicações e dados do sistema que falhou para sistema alternativo dentro do cluster.
 - *Failback* (retorno à operação):
 - Restauração de aplicações e dados para o sistema original.
 - Quando o problema for consertado.
- Balanceamento de carga:
 - Escalabilidade incremental.
 - Inclui novos computadores automaticamente no agendamento.
 - Mecanismos de *middleware* precisam reconhecer que os processos podem migrar entre as máquinas.



Computação paralela

- Única aplicação executando em paralelo em uma série de máquinas no cluster.
 - Compilador:
 - Determina em tempo de compilação quais partes podem ser executadas em paralelo.
 - Separadas para diferentes computadores.
 - Aplicação:
 - Aplicação escrita desde o início para ser paralela.
 - Passagem de mensagens para mover dados entre nós.
 - Difícil programar.
 - Melhor resultado final.
 - Computação paramétrica:
 - Se um problema repetir a execução do algoritmo em diferentes conjuntos de dados.
 - P.e., simulação usando diferentes cenários.
 - Precisa de ferramentas eficazes para organizar, executar e gerenciar os trabalhos.



Servidores Blade

- Implementação comum da abordagem de cluster.
- Servidor hospeda múltiplos módulos servidores (blades) em chassi único.
 - Economiza espaço.
 - Melhora gerenciamento de sistemas.
 - Chassi oferece fonte de energia.
 - Cada blade tem processador, memória, disco.



Clusters comparados a SMP

- Ambos têm suporte para multiprocessador para aplicações com grande demanda.
- Ambos estão disponíveis comercialmente.
 - SMP há mais tempo.
- SMP:
 - Mais fácil de gerenciar e controlar.
 - Mais próximo dos sistemas de único processador:
 - Agendamento é a principal diferença.
 - Menos espaço físico.
 - Menor consumo de energia.
- Cluster:
 - Maior escalabilidade incremental e absoluta.
 - Maior disponibilidade.
 - Redundância de todos os componentes.



Acesso não uniforme à memória (NUMA)

- Alternativa a SMP e clustering.
- Acesso uniforme à memória (UMA):
 - Todos os processadores têm acesso a todas as partes da memória.
 - Usando leituras e escritas.
 - Tempo de acesso a todas as regiões da memória é o mesmo.
 - Tempo de acesso à memória para diferentes processadores é o mesmo.
 - Conforme usado pelo SMP.
- Acesso não uniforme à memória (NUMA):
 - Todos os processadores têm acesso a todas as partes da memória.
 - Usando leituras e escritas.
 - Tempo de acesso do processador depende da região da memória.
 - Diferentes processadores acessam diferentes regiões da memória em diferentes velocidades.
- NUMA com coerência de cache:
 - Coerência de cache mantida entre caches de vários processadores.
 - Significativamente diferente de SMP e clusters.



NUMA - Motivação

- SMP tem limite prático para número de processadores.
 - Tráfego do barramento limitado entre 16 e 64 processadores.
- Nos clusters, cada nó tem sua própria memória.
 - Aplicações não veem grande memória global.
 - Coerência mantida por software, não por hardware.
- NUMA retém estilo do SMP enquanto oferece multiprocessamento em grande escala.
 - P.e., Silicon Graphics Origin NUMA, até 1024 MIPS R10000.
- Objetivo é manter memória transparente através do sistema, permitindo, ao mesmo tempo, vários nós multiprocessadores, cada um com seu próprio barramento ou outro sistema de interconexão interna.